



Escola Politècnica Superior  
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# TREBALL FINAL DE GRAU

**TÍTULO:** REDUCCIÓN DEL LEAD TIME EN LA FÁBRICA MAHLE S.A.  
APLICANDO EL VALUE STREAM MAPPING

**AUTOR:** CARMONA PARDO, XAVIER

**FECHA DE PRESENTACIÓN:** 7 de febrero de 2018

## RESUMEN

El presente trabajo final de grado (TFG) consiste en el análisis de la producción de pistones para motores de combustión interna. El producto se manufactura en la empresa MAHLE S.A. situada en Vilanova i la Geltrú siendo ésta una empresa dentro del Grupo Mahle, dedicado al sector de la automoción.

Para la fabricación de los pistones se cuenta con una zona de fusión del aluminio en la cual se produce la aleación. Posteriormente la colada por gravedad y tratamiento térmico para obtener las propiedades mecánicas necesarias. Finalmente, la empresa cuenta con cuatro líneas de mecanizado para el acabado y ensamble del pistón.

Este estudio pretende reducir el plazo de entrega para la familia de productos correspondiente a la línea de mecanizado L15. Esta reducción objetivo pasa de 37,1 días a 12 días mediante la herramienta de análisis Value Stream Mapping (o Mapa de Flujo de Valor). Esta herramienta permite un seguimiento detallado del proceso, el flujo de material y la comunicación de proveedor y cliente con la empresa.

Formando unos equipos de trabajo para este proyecto surgen propuestas de solución y acciones de mejora que permiten reducir el plazo de entrega hasta el objetivo.

Las acciones propuestas requieren de la participación de varios departamentos de la fábrica, lo cual necesita de una buena gestión, control y seguimiento de todas ellas.

De este proyecto se extrae como conclusión que el objetivo marcado es alcanzable y realista. Sin embargo no ha sido posible hasta la fecha, debido a la planificación y prioridades de la planta. Será necesario más tiempo para poder implementar todas las soluciones propuestas.

### Palabras clave (máximo 10):

Gestión Lean	Kaizen	Plazo de entrega	Mapa de flujo de valor
VSM	Ritmo de entrega	Mejora Continua	

## ABSTRACT

This final project it is an analysis of the production of pistons for internal combustion engines. The product is manufactured in the MAHLE S.A. located in Vilanova I la Geltrú, this factory belong to the Mahle Group, dedicated to the automotive sector.

For the manufacture of the pistons exist a fusion zone of the aluminium in which the alloy is produced. Then do the gravity casting and thermal treatment to obtain the mechanical properties. Finally, MAHLE S.A. has four machining lines for the finishing and assembly.

This study aims to reduce the lead time for the family of products corresponding to the machining line L15. This target reduction decrease from 37,1 days to 12 days thought the analysis tool, Value Stream Mapping (VSM). This tool allows a detailed monitoring of the process, the flow of the material and the communication of supplier and client with the factory.

Creating team works for this project, to think and act the improvement actions that reduce the lead time to the goal.

The proposed actions require the participation of several departments of the factory, which requires good management, control and monitoring of all of them.

From this project it is concluded that the marked target is achievable and realistic. However, it has not been possible to date, due to the planning and priorities of the factory. It will take more time to implement all the proposed solutions.

### Keywords (10 maximum):

Lean Management	Kaizen	Lead Time	Value Stream Mapping
VSM	Takt Time	Continuous Improvement	

# Contenido

<b>1. ANTECEDENTES.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 MAHLE S.A. ....</b>	<b>7</b>
1.1.1 Organigrama MAHLE S.A. ....	8
1.1.2 Layout o diseño de la planta MAHLE S.A. ....	9
1.1.3 Definición del proceso de fabricación .....	11
1.1.4 Productos de MAHLE S.A. ....	13
<b>1.2 Demanda de una solución .....</b>	<b>15</b>
1.2.1 Lean Management .....	15
<b>2. SITUACIÓN ACTUAL .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Value Stream Mapping actual de MAHLE S.A. ....</b>	<b>16</b>
2.1.1 Entender la demanda de cliente .....	17
2.1.2 Simbología y leyenda del VSM .....	18
2.1.3 Representación del VSM actual de MAHLE S.A. ....	20
<b>2.2 Análisis del proceso.....</b>	<b>21</b>
2.2.1 Modelo 5W+2H en MAHLE S.A. ....	21
2.2.2 Diagrama de Pareto en MAHLE S.A. ....	22
2.2.3 Diagrama Yamazumi en MAHLE S.A. ....	24
<b>3. OBJETIVO.....</b>	<b>28</b>
<b>4. ANÁLISIS DE CAUSAS .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1 Herramienta “5 Porqués” en MAHLE S.A. ....</b>	<b>29</b>
<b>5. CONTRAMEDIDAS PROPUESTAS .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1 Value Stream Mapping futuro en MAHLE S.A. ....</b>	<b>32</b>
5.1.1 Acciones del VSM actual .....	32
5.1.2 Soluciones propuestas.....	34
5.1.3 Cálculo de stock .....	35
<b>6. PLAN DE ACCIÓN .....</b>	<b>41</b>
<b>6.1 Buffer y Supermercado.....</b>	<b>41</b>
6.1.1 Diagrama de Gantt y responsable.....	42
<b>6.2 Máquina de fresado .....</b>	<b>43</b>

6.2.1 Presupuesto.....	43
6.2.2 Diagrama de Gantt y responsable .....	43
<b>6.3 Reducción del lote de producción.....</b>	<b>44</b>
6.3.1 Diagrama de Gantt y responsable.....	45
<b>6.4 SMED en Corte de Coladas .....</b>	<b>46</b>
6.4.1 Diagrama de Gantt y responsable .....	46
<b>7. SEGUIMIENTO .....</b>	<b>48</b>
7.1 Buffer y Supermercado.....	48
7.2 Máquina de fresado .....	50
7.3 Reducción del lote de producción.....	51
7.4 SMED en Corte de Coladas .....	52
<b>8. CONCLUSIONES. LECCIONES APRENDIDAS .....</b>	<b>56</b>
8.1 Conclusiones .....	56
8.2 Lecciones aprendidas .....	57
<b>9. AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>58</b>
<b>10. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>60</b>
<b>11. ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>61</b>
<b>12. ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>62</b>
<b>13. ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>63</b>
<b>14. GLOSARIO .....</b>	<b>64</b>
<b>15. ANEXO.....</b>	<b>65</b>
15.1 Definición del Diagrama de Pareto.....	65
15.2 Definición del Modelo 5W+2H .....	66
15.3 Diagrama Ishikawa.....	67
15.4 Modelo A3 de Toyota.....	68

## **1. ANTECEDENTES**

### **1.1 MAHLE S.A.**

MAHLE es una multinacional alemana con sede en Stuttgart, líder en el desarrollo y producción de componentes para automoción. Tiene presencia local en los principales mercados del mundo, con una plantilla de 66.000 personas, 150 centros productivos y 10 grandes centros de investigación y desarrollo, ubicados en Alemania, Gran Bretaña, EE.UU, Brasil, Japón, China e India.

Con una facturación próxima a los diez mil millones de euros, ofrece soluciones innovadoras en componentes de motor, filtración, sistemas eléctricos, mecatrónica y gestión térmica, posicionándose como uno de los principales proveedores del automóvil en todas estas áreas.

MAHLE fue fundado por los hermanos Hermann y Ernst Mahle. Una pequeña empresa que alcanza el éxito en 1920, momento en el que se utilizaba la fosa gris para la fabricación de pistones de motores de combustión interna en automóviles. Los hermanos Mahle decidieron cambiar esta tendencia mediante la manufactura de pistones de aleación ligera, esto lo acompañaron de filtros de aire y aceite para prevenir que la suciedad y el polvo entrasen en el motor. Fue de esta manera como la perseverancia dio sus frutos. Los pistones de aleación ligera comenzaron a tomar el mercado.

El fundador del Grupo MAHLE, Ernst Mahle, mantenía que “La calidad es crucial. Siempre se puede mejorar”. Su modelo sigue siendo vigente para MAHLE a día de hoy y ha permitido situarla entre los 30 principales proveedores de automoción a nivel mundial y como uno de los 3 principales fabricantes.

En España el Grupo MAHLE cuenta con alrededor de 2.000 empleados ubicados en Vilanova i la Geltrú, Montblanc, Alcalá de Henares, L’Espluga de Francolí, Motilla del Palancar y Valencia.

La empresa MAHLE S.A. es una sede de la central alemana MAHLE situada en Vilanova i la Geltrú (Barcelona). MAHLE S.A. pertenece a la unidad de negocio 1, focalizada en la producción de pistones, tanto gasolina como diésel para clientes como Audi, Volkswagen, Volvo, Mercedes, AMG, BMW, Porsche, etc.

En esta empresa se parte de la materia prima, siendo ésta el aluminio puro. Se compra, también, los elementos para obtener la aleación necesaria. A continuación se transforma el aluminio en estado líquido y se procede a la aleación. Seguido a este proceso se llenan los crisoles con el producto y se procede a la colada por gravedad, de esta forma se consigue la pieza en bruto.

Una vez tenemos el bruto, éste recorre una línea de mecanizado. Esta línea finaliza con el acabado del producto que será sometido a los tratamientos superficiales necesarios y su posterior ensamble.

### 1.1.1 Organigrama MAHLE S.A.

La empresa MAHLE S.A. tiene una jerarquía vertical. En su punto más alto encontramos al gestor de la planta Nuno Arroja, el cual dirige ambas plantas situadas en Vilanova i la Geltrú.

MAHLE S.A. se divide en los departamentos siguientes:

- Operaciones
- Finanzas
- Controlling
- Logística
- Producción
- Ingeniería
- Calidad y Medioambiente
- Recursos Humanos
- Seguridad Laboral

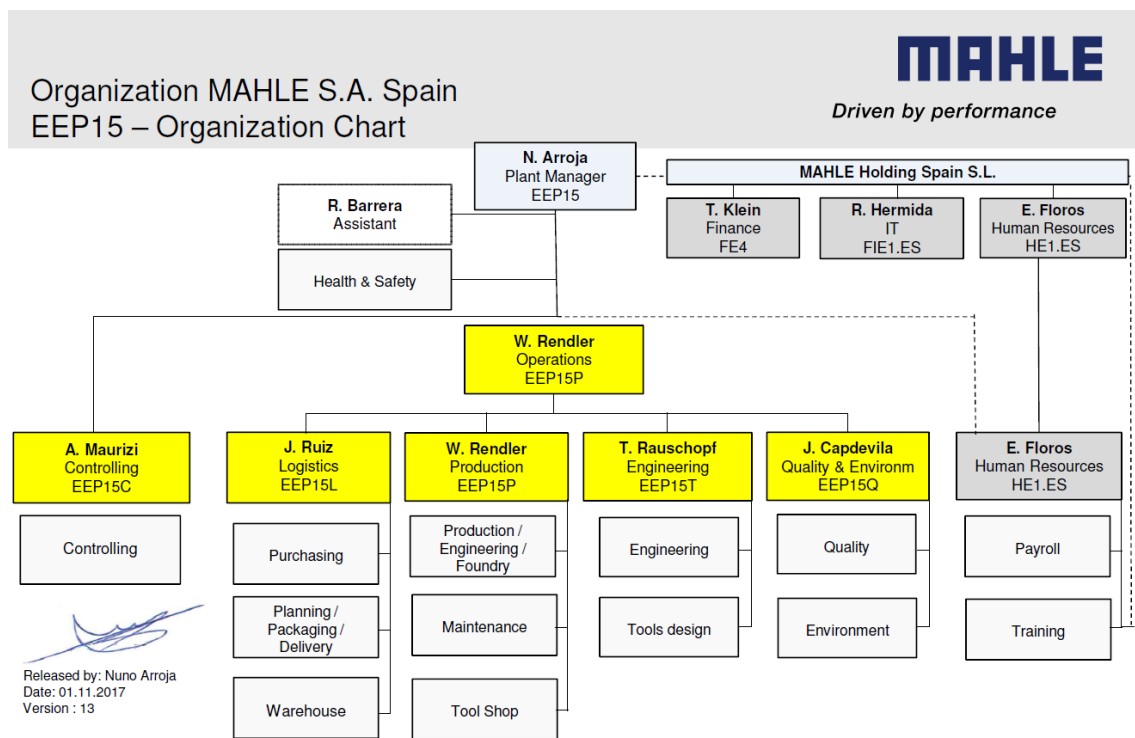


Imagen 1 – Organigrama MAHLE S.A.

### 1.1.2 Layout o diseño de la planta MAHLE S.A.

La fábrica se divide en distintas áreas de trabajo en función del tipo de proceso al que someten a los pistones. MAHLE S.A. diferencia entre la zona fusión, fundición, corte de coladas, mecanizado, tratamientos superficiales, control final y almacén. Además posee las distintas oficinas que gestionan la empresa, la mayoría internas en la planta separando las zonas de fundición y mecanizado. El resto de oficinas están en un área colindante a las naves de producción.

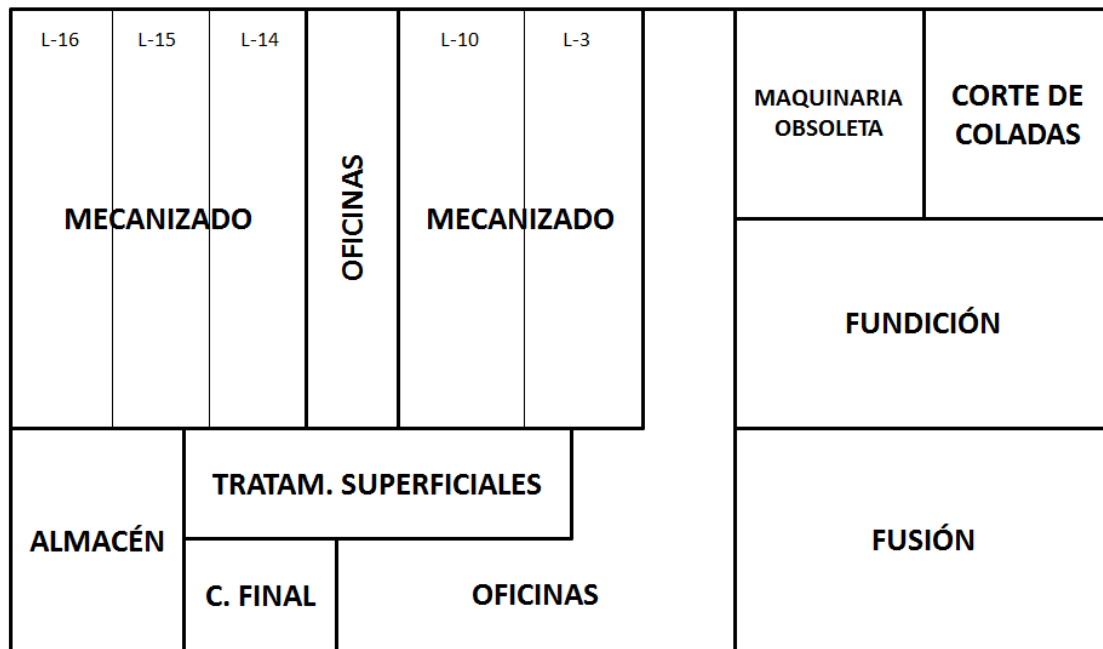


Imagen 2 – Layout orientativo de la fábrica MAHLE S.A.

Cada zona de las representadas en el layout orientativo de la planta MAHLE S.A. tiene subdivisiones que conforman un grupo de maquinaria.

Fusión	Fundición	Corte de Coladas	Mecanizado	Tratamientos Superficiales	Control Final	Almacén	Oficinas
Hornos	GFS3	Máquina de corte	L-3	Lavado activo		Brutos	Calidad
Espectrómetro	REIS	Verificación rayos X	L-10	Serigrafía		Distribución	Medioambiente
	ROBOT LINEAL		L-14				Producción
	Grupos Manuales		L-15				Laboratorio
			L-16				Utilejes

Tabla 1 – Divisiones de las áreas de la planta



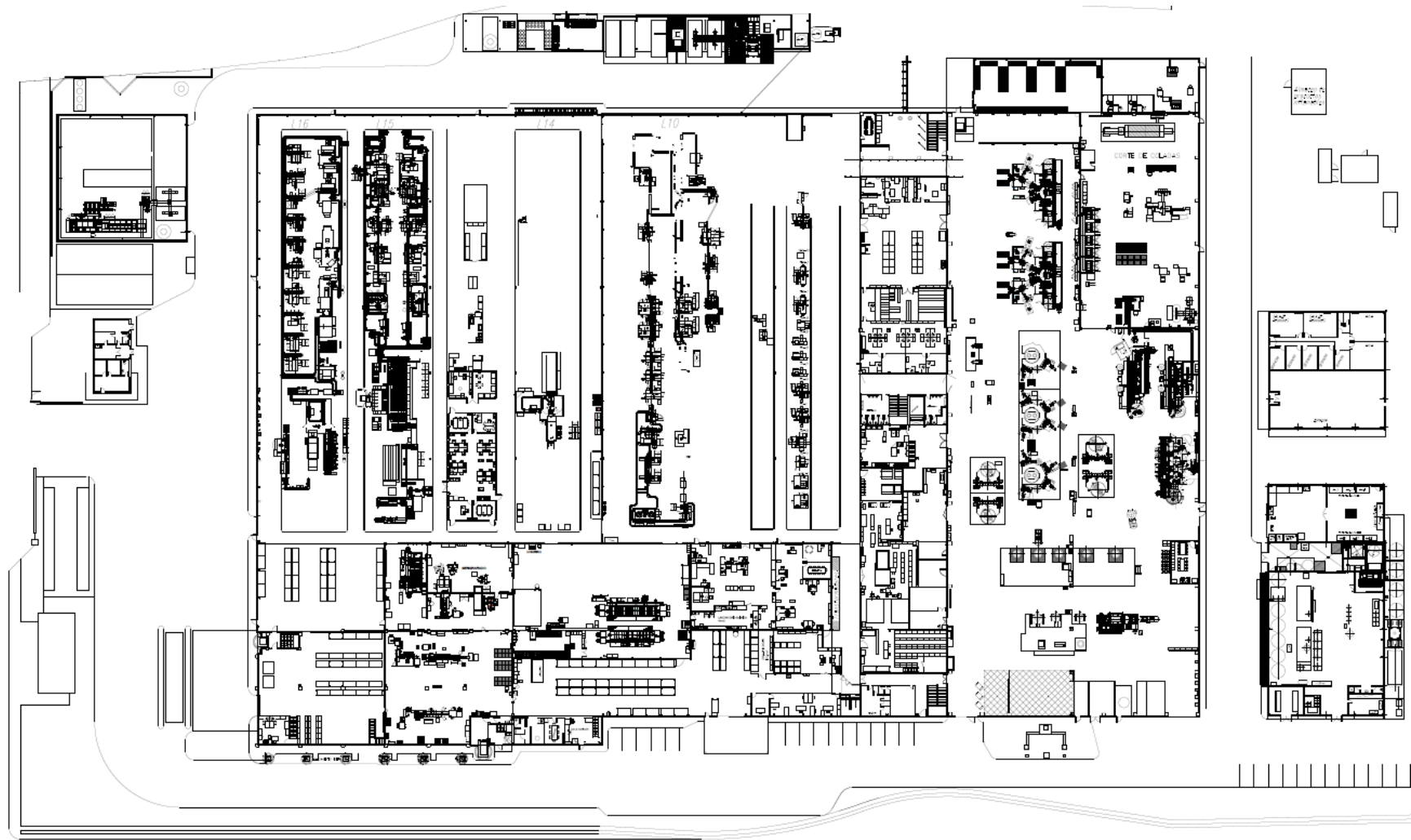


Imagen 3 – Layout real de MAHLE S.A.

### 1.1.3 Definición del proceso de fabricación

Como se ha comentado anteriormente, el grupo MAHLE se dedica a la fabricación y distribución de componentes de automoción. Particularmente la sede situada en Vilanova i la Geltrú con nombre MAHLE S.A. se dedica a la fabricación de pistones de motor de combustión interna para vehículos. Sus productos son los pistones tanto de gasolina como diésel para grandes marcas del sector como Porsche, Audi, BMW entre otros muchos. Éste producto tiene una elevada demanda de cliente, y unas grandes exigencias como son tolerancias dimensionales muy precisas o propiedades de los materiales específicas.

Inicialmente, la planta iniciaba su proceso de fabricación encargando a sus proveedores la aleación de aluminio necesaria para el desarrollo de su producto. Sin embargo, un estudio realizado por MAHLE marcó una nueva pauta de trabajo dejando el proceso de fusión y aleación a la misma fábrica que encargada de la fabricación del pistón.

De esta forma el proceso de fabricación actual en la planta consistiría, primeramente en la compra del aluminio puro y los elementos químicos necesarios para las distintas aleaciones de pistones que reclama el cliente. Estos productos se almacenan en la zona de fusión. La aleación se realiza en un horno de inducción. El aluminio es sometido a 820°C superando su punto de fusión y permitiendo la aleación.

Una vez el proceso de fusión y obtención de la aleación ha finalizado se realiza un control de calidad de la aleación mediante la colada de probetas y un espectrógrafo que verificará si las propiedades obtenidas son las correctas. Seguidamente, si el estudio es positivo, este nuevo producto pasa a la fase de colada por gravedad.

La colada se puede realizar mediante un robot automatizado, con la supervisión de un operario, o en unos grupos manuales. Se vierte el aluminio aleado en los distintos moldes de pistón para obtener una preforma del que será nuestro producto final. Cada colada genera dos pistones unidos entre sí y, según la demanda del cliente, los robots volcarán la materia líquida en uno o dos moldes. Después de cada desmoldeo, las piezas en bruto reposan y son verificadas por los operarios. Estos controles buscan los defectos más evidentes del proceso como son rechupes, poros, óxidos, puntos de soldadura en frío, inclusiones, rebabas o grietas, entre otros. En caso de encontrar algún defecto en el pistón se les pinta de rojo para que en los siguientes procesos se puedan distinguir. A continuación se ubican en contenedores para su transporte al siguiente proceso.

Debido a la aleación distinguimos tres tipos de envejecimiento a temperatura ambiente. Algunos de los productos necesitan permanecer 12 horas para estabilizarse, otros, 24 horas mientras que unos pocos no necesitan de este proceso.

El bruto de los pistones, ya verificados, se almacena esperando a ser divididos por una sierra circular. A este proceso se le denomina “Corte de coladas”. Consiste en el corte de las mazarotas y otros elementos que permiten la correcta solidificación. Una vez la máquina realiza el proceso, el pistón se desliza por una cinta corredera y un operario retira los pistones que han sido marcados en rojo para ser nuevamente refundidos.

A continuación, el pistón se introduce en un horno de maduración para ser estufado durante 8 horas. Este horno expulsa un contenedor cada hora y es capaz de almacenar hasta ocho contenedores en su interior.

Algunas de las referencias, por demanda del cliente, requieren una verificación del 100% de los pistones colados mediante una máquina de rayos X para comprobar la ausencia de óxidos en la cabeza del bruto. Este proceso, actualmente, se realiza después del corte de coladas y el estufado.

Tras el proceso de estufado y verificado, en el caso de los pistones exigidos, este producto en bruto se almacena generando un elevado stock que divide claramente la planta en la fundición y el mecanizado. Este almacén pretende establecer un sistema de Primero Entra Primero Sale, FIFO<sup>1</sup> por sus siglas en inglés.

En este almacén los pistones esperan a ser reclamados por las distintas líneas de mecanizado, cada una de ellas se encarga de unas referencias concretas de pistones. Y en función de cada línea los operarios trabajan a dos o tres turnos lo cual permite un acelerado proceso de mecanizado.

El primer proceso consiste en cargar los pistones en una cinta mecánica que desplaza las piezas a lo largo de la línea. El proceso de mecanizado depende de la línea y la referencia del pistón. Centrándonos en la línea L15, que es sobre la cual se realizará el estudio, observamos un primer proceso de desbastado en las zonas que cada pistón requiera. A continuación se realiza un rebarbado con el taladro y se proceden a los acabados más precisos, cubriendo las tolerancias que demanda el cliente en sus planos.

Una vez tenemos el producto mecanizado y con las tolerancias exigidas, se procede a una serie de tratamientos superficiales que pueden pasar por anodizados, estañados y/o serigrafía.

Cuando el pistón ha sido sometido a los tratamientos necesarios se finaliza el proceso de fabricación mediante un control de calidad. Éste consiste en una inspección ocular del operario, a continuación algunas referencias son sometidas a un examen con rayos X por un robot. Seguidamente se procede a un control dimensional y ensamblado del bulón y segmentos.

Finalmente, el proceso termina con el empaquetado del producto acabado y es acumulado en el almacén de distribución a la espera de la recogida, semanal o mensual, por parte del cliente.

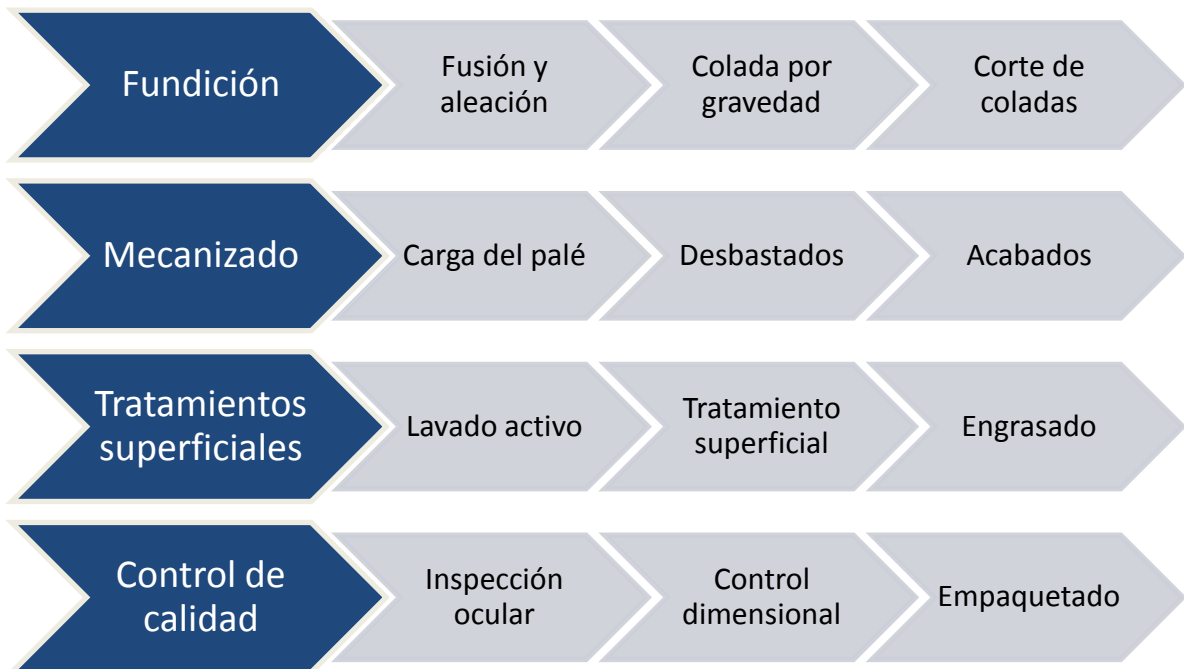


Imagen 4 – Descripción del proceso de fabricación

#### 1.1.4 Productos de MAHLE S.A.

El producto fabricado por la empresa es el pistón de motores de combustión interna, en base aluminio y con distintas composiciones. Estos pistones se desarrollan con tecnología para motores gasolina y diésel, pero para este proyecto seleccionamos una familia de producto.

Esta familia de producto consiste en cinco referencias de pistón, todos ellos para motores gasolina sin tecnología con portadora. Los cuales siguen el mismo proceso de fabricación entre ellos, de esta forma se puede realizar un análisis más detallado del proceso actual.

##### 1. 98L94 – AMG

Este pistón consiste en un elemento mecánico para la empresa de automoción “Mercedes Benz” y su marca AMG, del grupo Daimler. Posee unas especificaciones técnicas que no pueden ser reveladas por la empresa MAHLE S.A.

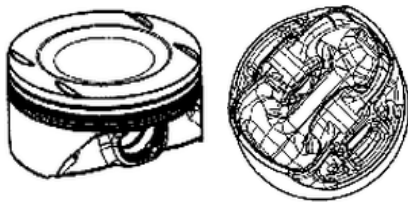


Imagen 5 – Pistón AMG (98L94)

Este producto se ensambla en motores de combustión interna, de automóvil gasolina.

2. 83L150 – AMG

El producto con referencia 83L150 pertenece a un pistón de aluminio desarrollado para la marca AMG. Diseñado para motores gasolina de coche.

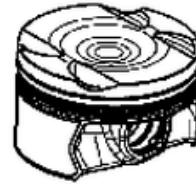


Imagen 6 – Pistón AMG (83L150)

3. 72L65 - BMW

La referencia 72L65 pertenece a un pistón para motores BMW gasolina. Estos pistones son del menor diámetro fabricado en la empresa MAHLE S.A actualmente.

Se ensambla en motores para motocicletas.

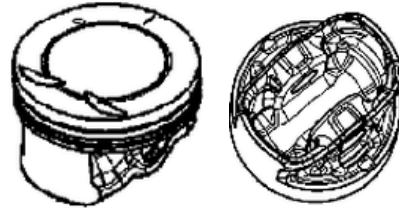


Imagen 7 – Pistón BMW (72L65)

4. 101L50 - BMW

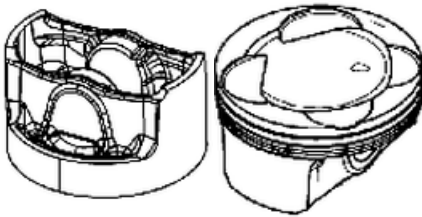


Imagen 8 – Pistón BMW (105L50)

El pistón correspondiente a esta referencia pertenece al grupo BMW para un motor gasolina de motocicleta. Este producto tiene el mayor diámetro fabricado en la planta MAHLE S.A. actualmente.

5. 92L159 – Daimler AG

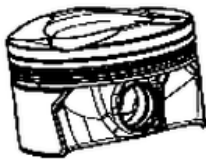


Imagen 9 – Pistón Daimler  
(92L159)

Esta referencia tiene una baja demanda anual. Se produce para ensamblarse en motores de combustión interna gasolina, para la marca Daimler.

## 1.2 Demanda de una solución

El Grupo MAHLE tiene distintas fábricas dedicadas a la producción de pistones en Europa. Éstas se encuentran en Polonia, Turquía, Alemania, Italia, España y Austria.

La elevada demanda de los clientes y la competencia interna de la unidad de negocio del grupo MAHLE obligan a un aumento de la productividad, una reducción del tiempo de entrega y una reducción de costes. A esto se le suma la reciente crisis económica, la cual conlleva a un actual estado de crecimiento por parte de todas las empresas del sector. Todo ello ha llevado a la empresa MAHLE S.A. a mantener una competencia directa contra la sede italiana además de enfrentarse al resto del mercado, tanto europeo como asiático. Es en este punto en el que se exige mejorar el rendimiento de la planta y reducir el lead time (o plazo de entrega).

El mercado es, por lo tanto, quien obliga a la dirección a tomar una decisión respecto a la fábrica. El sector de la automoción tiene unos clientes muy exigentes que, dado el gran potencial que tienen a nivel nacional e internacional, pueden permitirse presionar a sus proveedores con gran fuerza.

Las empresas proveedoras de estas grandes marcas se enfrentan a una competencia constante que no les permite aumentar el precio de su producto, por lo cual su única opción de aumentar su beneficio consiste en la reducción de costes.

### 1.2.1 Lean Management

A principios del s. XX la organización y los aspectos económicos no tenían un papel fundamental en la empresa. Este modelo de negocio centraba su atención en el desarrollo de más productos y mejores sin reparar en costes, productividad o tiempos de producción. No es hasta la fabricación del automóvil *Ford T* desarrollado por Henry Ford (1863-1947) que se implanta la producción en masa centrando sus esfuerzos en la normalización de algunos componentes y la especialización del operario en los procesos de fabricación.

En la segunda mitad del s. XX se llega a nuevos enfoques de gestión y es cuando aparecen tres modelos de producción a seguir:

1. La producción en masa, basada en el sistema tradicional implementado por Ford. Este sistema centra sus esfuerzos en reducir costes mediante la economía de escala.
2. Sistema de producción de Toyota, es el sistema de gestión basado en la empresa automovilística Toyota. Se basa en orientar los procesos operacionales con el mínimo de recursos de todo tipo y con la adaptación total a las necesidades de cliente.
3. Técnica de Producción Optimizada (OPT), fue desarrollado por Eliyahu Goldratt. Centrado en la búsqueda de restricciones o limitaciones de la producción pretende mejorar su eficiencia atacando los cuellos de botella a lo largo del proceso.

Actualmente, el modelo de producción más competitivo para lograr reducir estos costes y, a su vez, aumentar la productividad es el sistema de producción de Toyota, también llamado Lean Management.

La gestión Lean tiene como objetivo enfocar nuestra producción al cliente entendiendo su demanda y procurando un detallado análisis del flujo de proceso, material e información de la planta. El modelo Toyota busca la excelencia en las operaciones de almacén, producción, mantenimiento o calidad entre otros muchos. Basado en la correcta gestión del valor añadido<sup>2</sup> pretende reducir los costes eliminando los procesos de no valor añadido.

A diferencia del sistema tradicional que pretende aumentar el beneficio aumentando el precio del producto o disparando la productividad, este modelo de gestión pretende reducir las averías, tiempos de preparación, stock y produciendo únicamente el material que nuestro cliente vaya a consumir. Esto permite una mayor flexibilidad de la producción y una reducción del lead time (o plazo de entrega).

El modelo de gestión Lean utiliza una serie de herramientas que permiten detectar los desperdicios de la planta de forma visual y clara. Se centra en reducir estos desperdicios mediante el control y optimización de los procesos ajustando el plazo de entrega al tiempo de valor añadido. De esta manera, lograremos que el tiempo que pasa una pieza en la fábrica sea el estrictamente necesario para transformarlo en el producto final.

## **2. SITUACIÓN ACTUAL**

La empresa ha decidido centrarse en reducir los costes y aumentar su productividad debido al incremento de demanda del cliente así como las exigencias del grupo MAHLE. Esto le permitirá posicionarse en el mercado tanto nacional como internacional elevando los beneficios y con éstos la inversión. Maximizar el beneficio de la empresa ayuda al aumento de la facturación de todo el grupo empresarial. Una mejora de la posición interna facilita la absorción de nuevas referencias y, con ello un incremento en las ganancias.

Es necesario, por lo tanto, identificar los problemas que encontramos en la planta. Para ello utilizamos unas herramientas fundamentales utilizadas en la gestión Lean. La primera de ellas es el Value Stream Mapping, el diagrama de Pareto y por último el modelo 5W+2H.

### **2.1 Value Stream Mapping actual de MAHLE S.A.**

El Value Stream Mapping, Mapa de flujo o VSM, por sus siglas en inglés, es una herramienta gráfica que permite visualizar todo un proceso, productivo o administrativo, en un único plano. Detalla la información de cada etapa, muestra el flujo de material e información además de observarse el tiempo de Valor Añadido y el Lead Time del proceso completo. Identificando, por lo tanto, las actividades que no agregan valor al producto.

El objetivo de esta herramienta es conocer las situaciones y procesos de la planta en las que un producto no gana Valor Añadido. De esta forma se puede actuar en estas actividades con la finalidad de reducir el tiempo de dedicación al mínimo posible.

Primeramente se desarrolla el VSM de la situación actual de la planta. Para ello seguimos 6 pasos que nos permitan crear este Mapa de Flujo de Valor.

1. Seleccionar la familia de proceso.
2. Entender la demanda del cliente (Takt Time<sup>3</sup>).
3. Crear el Mapa de Flujo del proceso.
4. Crear el Mapa de Flujo de material.
5. Crear el Mapa de Flujo de información.
6. Calcular el tiempo de Valor añadido y Lead Time (plazo de entrega).

### 2.1.1 Entender la demanda de cliente

Conocer la demanda de cliente es el paso más importante en el desarrollo de un Value Stream Mapping. Nuestra producción debe ajustarse a la demanda para evitar gastos innecesarios e inversiones precipitadas.

Actualmente en la L15 de MAHLE S.A. se abastece a dos clientes de grandes multinacionales, Mercedes (AMG) y BMW. Puesto la familia de proceso se compone por las referencias de ambos clientes se realiza un cálculo del takt time acorde a estos clientes.

La demanda anual en 2017 es de 551.784 pistones para esta familia. Teniendo en cuenta que en MAHLE S.A. se incentiva a los operarios con una bonificación llamada “Relleu” que permite un tiempo disponible del 100% del turno. Los días laborables del año 2017 suman 239 días.

$$\text{Tiempo Disponible Anual} = 239 \text{ días} \cdot 24h \cdot 3600 \text{ seg} = 20.649.600 \text{ seg}$$

El cálculo del Takt Time representa la relación del tiempo disponible respecto a la demanda. De esta forma podemos hacer el cálculo del takt time por referencia.

Referencia	Demanda anual	Takt Time (seg/pistón)
83L150	274.072	75,4
98L94	155.961	132,4
101L50	47.031	439,1
72L65	55.280	373,6
92L159	19.440	1.062,3

Tabla 2 – Demanda anual



Con el takt time por referencias calculado, se realiza un cálculo de takt time equivalente que corresponde a la inversa de la suma de inversas de éstos.

$$Takt\ Time_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{75,4} + \frac{1}{132,4} + \frac{1}{439,1} + \frac{1}{373,6} + \frac{1}{1062,3}} = 37,4\ seg/pistón$$

Por lo tanto, el ritmo de demanda de cliente para esta familia de proceso corresponde a un pistón cada 37,4 segundos. A partir de este dato MAHLE S.A. debe trabajar sobre sus propios procesos internos para cumplir este requisito.

### 2.1.2 Simbología y leyenda del VSM

El correcto desarrollo de esta herramienta requiere conocer la simbología empleada. Los símbolos utilizados para cualquier Value Stream Mapping son los mismos con pequeñas variaciones identificativas de cada planta.

La finalidad de esta estandarización es facilitar el entendimiento de cualquier Mapa de Flujo de Valor.

En MAHLE S.A. se utiliza la siguiente simbología para el VSM.


























Proceso	 Proveedor/Cliente	 Proceso de Producción	 Cuadro de información					
Material	 Inventario	 Empuje de material	 Supermercado	 Stock de seguridad	 Retiro de material "pull"	 Envío externo de material	 Primero Entra Primero Sale	
Información	 Infor.electrónica	 Infor.manual	 "Ve a ver"	 Puesto de Kanban	 Kanban de producción	 Kanban de retiro	 Señal Kanban	 Nivelado de carga
General	 Operario	 Rayo del Kaizen	 Línea del tiempo					
Transporte	 Terrestre	 Marítimo	 Aéreo	 Interno de la empresa				

Tabla 3 – Simbología VSM de MAHLE S.A.

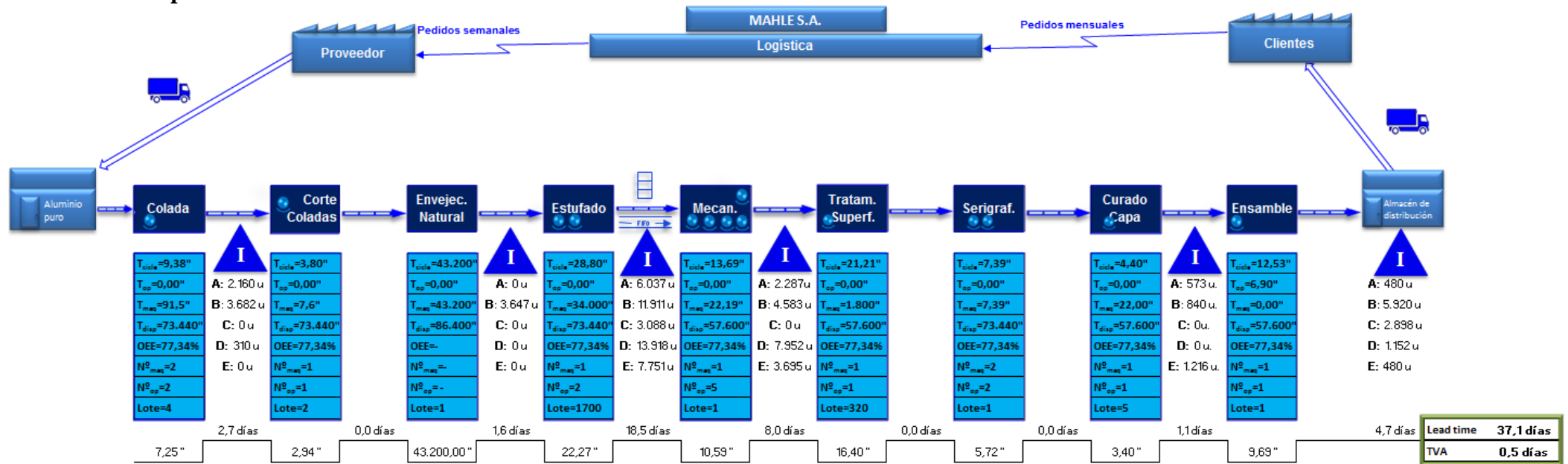
Para definir correctamente un Value Stream Mapping será necesario introducir los datos de tiempos de ciclo, cálculo de OEE<sup>4</sup>, lote, número de máquinas y operarios, tiempo disponible, tiempo de operario y tiempo de máquina.

A continuación se identifican los datos que se pueden encontrar en los cuadros de información de un VSM.

<b>Concepto</b>	<b>Definición</b>
<b>Takt time</b>	Periodo de tiempo necesario para fabricar las piezas demandadas, o servicios solicitados por el cliente.
<b>Tiempo de ciclo</b>	Tiempo dedicado de un proceso por pieza.
<b>Tiempo del proceso</b>	Tiempo total del proceso.
<b>Tiempo de entrega (Lead Time)</b>	Tiempo que transcurre desde el inicio de un proceso hasta su entrega a cliente.
<b>Tiempo de pérdida</b>	Tiempo de No Valor Añadido en un proceso.
<b>Reprocesos</b>	Piezas defectuosas con posibilidad de corregir el fallo.
<b>Rechazo</b>	Piezas defectuosas sin posibilidad de eliminar el fallo.
<b>Tiempo del cambio de producto</b>	Tiempo de preparación para el cambio de producto.
<b>Necesidades del cliente</b>	Demanda del cliente.
<b>Horas netas de trabajo disponibles</b>	Horas disponibles en un periodo de trabajo específico.
<b>Tiempo disponible neto por turno</b>	Horas reales disponibles por turno.
<b>Stock</b>	Unidades acumuladas.

Tabla 4 – Leyenda VSM en MAHLE S.A.

### 2.1.3 Representación del VSM actual de MAHLE S.A.



Horas/turno	8
Turnos	3
laborables/año	239
Demanda anual	551.784 piezas
Demanda diaria	2.309 piezas
Takt Time	37,4"

Referencia	Letra
72L65	A
83L150	B
92L159	C
98L94	D
101L50	E

Imagen 10 – Value Stream Mapping Actual de MAHLE S.A.

En el VSM actual queda representado, en un solo gráfico, el proceso completo de la familia de pistones que se fabrican por la línea de mecanizado L15. En éste se contempla el flujo de información entre MAHLE S.A., sus proveedores y clientes, así como flujo de material y tiempos invertidos por los procesos para obtener el producto final.

El plazo de entrega, en el momento de la foto, es de 37,1 días. Este plazo es el que tardará MAHLE S.A. en entregar el producto, una vez realizada la demanda. El mayor tiempo de no valor añadido en el proceso se observa en el almacén de brutos, entre el área de fundición y mecanizado, con un total de 13,7 días de tiempo de espera.

De estos 37,1 días se suma un total de 0,5 días de tiempo de valor añadido. La relación del tiempo de valor añadido respecto el lead time es de 1,35%. Por lo que el cliente está pagando únicamente el 1,35% del tiempo que MAHLE S.A. invierte en su producto.

## 2.2 Análisis del proceso

### 2.2.1 Modelo 5W+2H en MAHLE S.A.

En la empresa del grupo MAHLE situada en Vilanova i la Geltrú se ha decidido, por parte del equipo directivo y del departamento de “Mahle Production System”, que el uso del modelo 5W+2H es una herramienta útil para desarrollar y conocer el problema que se plantea en este estudio.

5 W				
<i>What</i> (¿Qué?)	<i>Why</i> (¿Por qué?)	<i>Where</i> (¿Dónde?)	<i>Who</i> (¿Quién?)	<i>When</i> (¿Cuándo?)
Elevado Lead Time (plazo de entrega).	Debido a los elevados stocks intermedios.	Se refleja en la lenta recuperación de la inversión de producción.	Logística y el departamento MPS (Mahle Production System) han detectado este problema.	Este problema se da mensualmente, con pocas variaciones.
2 H				
<i>How to</i> (¿Cómo?)		<i>How many</i> (¿Cuánto?)		
En la línea de mecanizado de estudio se han observado meses con un lead time de 15 días según el seguimiento que se realiza en la planta.		Plazo de entrega a los 37,1 días en este análisis, supone un incremento del 59,57% respecto a meses anteriores. Corresponde a un ratio del Tiempo de Valor Añadido del 1,35% respecto el plazo de entrega.		

Tabla 5 – Modelo 5W+2H

### 2.2.2 Diagrama de Pareto en MAHLE S.A.

Aplicar esta herramienta para la empresa MAHLE S.A. es fundamental para analizar el estado actual de la planta. De esta forma se pretende entender qué causas afectan en nuestro problema y el tiempo que implica cada una de ellas.

Para desarrollar este elemento de control es imprescindible decidir el problema que se desea tratar. En este proyecto se hace uso del Diagrama de Pareto para controlar el elevado plazo de entrega a cliente, referente a todo el proceso de fabricación. Que incluye desde la fundición hasta el almacén de distribución, pasando por la línea de mecanizado L-15.

Una vez el problema es identificado necesitamos conocer las causas que provocan este inconveniente para la planta y contabilizarlas. Ya sea por frecuencia, tiempo o coste. Esto nos permite priorizar las causas raíz que serán objeto de la implementación de las acciones de mejora.

Para seleccionar las causas más relevantes, el Diagrama de Pareto concluye que el 80% de nuestros problemas viene dado por un 20% de las causas. Esta herramienta de análisis muestra la acumulación del porcentaje de las causas, de esta forma marca como objetivo solucionar el 80% de nuestros problemas.

Tras un exhaustivo seguimiento en la planta de MAHLE S.A. para el Value Stream Mapping, se ha desarrollado una tabla que cuantifica las distintas acciones que afectan al Lead Time.

Causa	Tiempo (días)	% individual	% acumulado
Esperas en almacén de brutos	18,5	48,28%	48,28%
Esperas para el TTSS en L15	6,2	16,18%	64,46%
Fresado en L14 y vuelta a L15	3,8	9,92%	74,37%
No FIFO en C. Coladas (NA prolongado)	3,1	8,09%	82,46%
Elevado SMED en C. Coladas	2,6	6,78%	89,25%
Natural Aging y Controles en serie	1,67	4,36%	93,61%
Elevado SMED en Mecanizado	0,8	2,09%	95,69%
Elevado SMED en Serigrafiado	0,75	1,96%	97,65%
Tiempo de Valor Añadido	0,5	1,30%	98,96%
Otros	0,4	1,04%	100,00%
<b>TOTAL</b>	<b>38,32</b>		

Tabla 6 – Diagrama de Pareto. Tabla situación actual

En esta tabla comparativa se observa, ya de forma ordenada, las causas que más afectan al plazo de entrega de la familia de procesos al que pertenecen nuestros pistones de estudio. El alto nivel de stock en el almacén de brutos, localizado entre fundición y mecanizado, es el tiempo de espera más notable en el proceso, seguido por la espera para el tratamiento superficial en la L15 y la espera frente a la L14 para poder fresar el pistón 101L50. El SMED en C. Coladas tan elevado se debe las 3 preparaciones diarias.

Mediante la tabla comparativa anterior (Tabla 6) se puede desarrollar la herramienta Diagrama de Pareto. Este gráfico nos muestra de forma muy visual y clara la importancia de cada una de las causas.

## Diagrama de Pareto - Causas del Lead Time

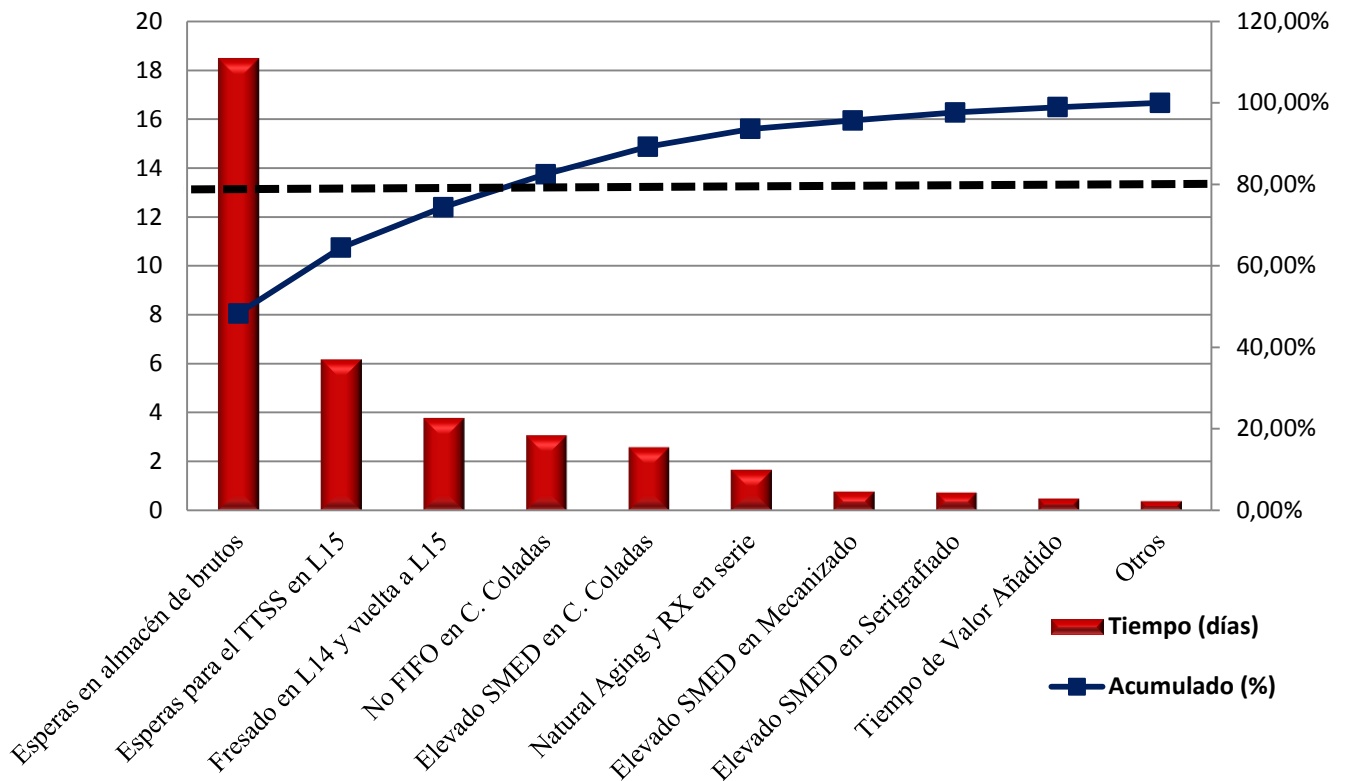


Gráfico 1 – Diagrama de Pareto. Causas Lead Time

Se puede extraer que cumple la conocida regla 80/20. En el caso específico analizado, el 74,37% de nuestros problemas viene dado por el 30% de las causas. Por lo que atacar las 3 primeras situaciones, mediante un plan de acciones, solucionará la mayor parte de nuestros retrasos. Sin embargo, MAHLE S.A. ha considerado interesante dar relevancia, también, a la cuarta causa más destacada.

Se observa de forma clara que el principal problema en el lead time para la planta de MAHLE S.A. se debe al nivel de inventario entre los procesos de estufado y mecanizado. Esto se traduce a la separación entre las áreas de fundición y mecanizado.

Las siguientes pérdidas de tiempo, a pesar de afectar la mitad de tiempo que la principal se deben al tiempo de espera que sufre el pistón de BMW 101L50. Este pistón requiere de un fresado específico que solo puede cubrir la máquina CMV-3 en la línea de mecanizado L14. Para poder realizar esta operación debe esperar a que la L14 libere la fresa durante su producción.

Actualmente, no se realiza un correcto FIFO frente a Corte de Coladas. El gran tamaño de los lotes que rondan los 500 pistones y su sistema de transporte en contenedores, hace que los pistones se acumulen unos sobre otros. Esto impide el correcto flujo de material además de obligar a esperar horas a los primeros pistones que han sido colados hasta completar el lote y, posteriormente, su corte.

El tiempo de preparación en la máquina TR-17 se ha considerado anormalmente alto. La cual se encarga del proceso de separación de pistones tras la colada y eliminación de mazarotas y bebederos. Se había considerado una de esas operaciones tradicionales a las que MAHLE S.A. debía adaptarse. Recientemente, una comparativa junto con el Grupo MAHLE se conoció el tiempo de preparación, de la misma máquina, entorno a los 15 minutos para otras plantas del mismo grupo.

Se verifica el 100% de los pistones de AMG 98L94 con rayos X por demanda de cliente. Este proceso se realiza una vez se ha cumplido el tiempo de envejecimiento natural.

Como ya se ha comentado con anterioridad, el Tiempo de Valor Añadido es realmente bajo, en lo que respecta al lead time total. La intención de este proyecto pretende elevar este ratio en lo máximo posible para este año e ir realizando la mejora continua para los años siguientes.

### **2.2.3 Diagrama Yamazumi en MAHLE S.A.**

Del término japonés “Yamazumi” que significa apilar surge el Diagrama Yamazumi. Este tipo de gráfico consiste en un diagrama de columnas apiladas que recogen la información desglosada sobre el tiempo o capacidad de un proceso productivo.

La herramienta permite conocer los problemas de producción, entendiendo problema como cualquier motivo de parada no planificada. La representación apilada facilita la clara identificación de cada uno de ellos.

En este mismo gráfico se representa el tiempo planificado de producción y tiempo teórico necesario para la producción, relacionando la demanda con el tiempo de ciclo. De esta forma se comprende la capacidad o incapacidad de un proceso para cubrir la demanda de cliente.

El Diagrama Yamazumi, en MAHLE S.A. se ha utilizado como herramienta necesaria para el cálculo de la capacidad en base a la demanda. Este gráfico permite a la planta realizar un buen análisis de la situación actual. En la fábrica de pistones de Vilanova i la Geltrú, el tiempo planificado de producción es de 8 horas completas. Como se ha comentado con anterioridad, no se descuentan tiempos de descanso y paros para limpieza y orden puesto que los operarios reciben una bonificación en nómina llamada “relleu”.

El mes de análisis de la situación actual se ha realizado en el mes de junio de 2017, por lo que los datos de tiempo utilizados para este gráfico corresponden a las horas de paro en ese mismo mes.

En la planta se gestionan las averías, incidencias y otros datos de máquina, planificados y no planificados, de forma independiente por área. Sin embargo algunas de las zonas de estudio en el Value Stream Mapping se consideran internas dentro de mismo proceso para el cálculo de OEE. Este caso se da para el estufado el cual se engloba en los datos de C. Coladas, los tratamientos térmicos los cuales se engloban dentro de la línea de mecanizado y el curado de la capa introducido en serigrafiado.

Para poder enlazar estos procesos se ha considerado el tiempo de ciclo equivalente tanto de mecanizado y tratamiento superficiales como las áreas restantes. De esta forma se muestra en una única barra las averías y otros tiempos de paro no planificado en ambas zonas.

El tiempo disponible mensual corresponde a 3 turnos de 8h para colada, corte de coladas y natural aging. Mientras que el tiempo disponible para la línea de mecanizado L15 son 2 turnos de 8h. El mes de junio se compone de 21 días laborables. Esto corresponde a un tiempo disponible de:

$$T_{dispFund} = 8h \cdot 3turnos \cdot 21 \text{ días lab.} = 540 h/mes$$

$$T_{dispMecan} = 8h \cdot 2turnos \cdot 21 \text{ días lab.} = 384 h/mes$$

$$T_{dispControl} = 8h \cdot 2turnos \cdot 21 \text{ días lab.} = 384h/mes$$

Las actividades de colada y corte de coladas, así como el proceso de serigrafiado tienen establecido un tiempo planificado de paro para el mes de junio. Este tiempo se debe contemplar en el cálculo del tiempo disponible real de máquina para corroborar la viabilidad de la capacidad de producción. En el caso del tiempo planificado de paro en la instalación de colada y corte de colada, para el mes de estudio, es de 2,6 horas. Para el área de serigrafiado tenemos un tiempo planificado de 9,59 horas.

De esta forma se establecen los cálculos para las áreas afectadas:

$$T_{dispColada} = T_{dispFund} - T_{planColada} = 540h/mes - 2,6h/mes = 501,4h/mes$$

$$T_{dispSerig} = T_{dispMecan} - T_{planSerig} = 384h/mes - 9,59h/mes = 326,41h/mes$$

A continuación se debe tener en cuenta el tiempo teórico de producción. Es el tiempo necesario para que una operación realice, en base a su tiempo de ciclo, la demanda de cliente. En el caso particular de este proyecto se utiliza la demanda mensual para junio, de esta forma comprobaremos los datos de pérdidas de este mismo mes. Siendo la demanda diaria 2.309 pistones y una demanda mensual de 48.489 unidades.

Puesto que en la fábrica se han unido algunos procesos para el cálculo de tiempo de pérdidas contemplaremos estos mismos juntos en el cálculo del tiempo teórico de producción. Para ello supondremos como tiempo de ciclo el tiempo más elevado de ambos procesos.

$$T_{TPColada} = \frac{T_{colad} \cdot Demanda \text{ mensual}}{3600 \text{ seg/h}} = \frac{9,38seg \cdot 48.489}{3600 \text{ seg/h}} = 126,34 h$$

$$T_{TPCorte} = \frac{T_{Estuf} \cdot Demanda \text{ mensual}}{3600 \text{ seg/h}} = \frac{28,80seg \cdot 48.489}{3600 \text{ seg/h}} = 387,91 h$$

$$T_{TPMecan} = \frac{T_{Mecan} \cdot Demanda \text{ mensual}}{3600 \text{ seg/h}} = \frac{21,21seg \cdot 48.489}{3600 \text{ seg/h}} = 285,68 h$$



En el caso del tiempo teórico de producción para el proceso de envejecimiento natural se considera 43.200 segundos porque es un tratamiento que no requiere de máquina ni operario. Por lo tanto no tiene pérdidas de OEE. Así que su capacidad de absorción del proceso es máxima.

$$T_{TPSerig} = \frac{T_{Serig} \cdot Demanda\ mensual}{3600\ seg/h} = \frac{7,39seg \cdot 48.489}{3600\ seg/h} = 99,54\ h$$

$$T_{TPContr} = \frac{T_{Contr} \cdot Demanda\ mensual}{3600\ seg/h} = \frac{12,53seg \cdot 48.489}{3600\ seg/h} = 168,77\ h$$

La planta de MAHLE S.A. contempla 6 tiempos de pérdida utilizados para el cálculo del OEE. Estos tiempos se apilan sobre el tiempo teórico de producción hasta poder corroborar si los procesos son capaces de absorber el ritmo de demanda de cliente.

### Diagrama Yamazumi

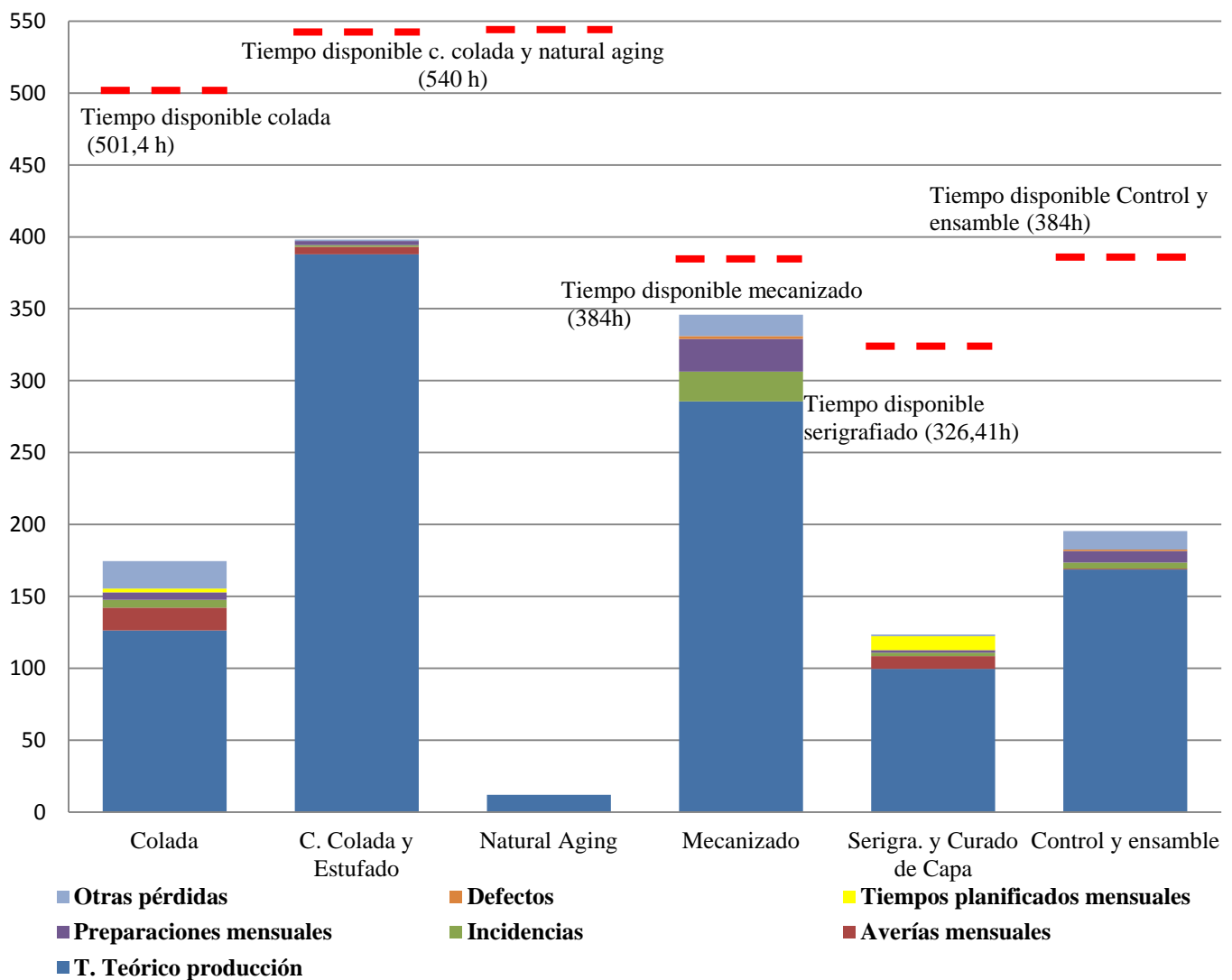


Gráfico 2 – Diagrama Yamazumi en MAHLE S.A.

Estos datos se han extraído de la base de datos oficial empleada en MAHLE S.A. para el control y gestión de la producción. El cálculo de OEE requiere de cada uno de estos valores para conocer cómo afecta a la eficiencia general de la fábrica de pistones.

El Diagrama Yamazumi nos muestra la capacidad de los diferentes procesos para la producción de pistones que se desarrolla, actualmente, en MAHLE S.A. A primera vista se entiende que todos los procesos son capaces de absorber la demanda de cliente.

Algo positivo que se debe destacar es la gran diferencia entre los tiempos de pérdida y el tiempo teórico de producción. De igual forma cabe considerar una necesidad de análisis en el proceso de colada ya que este ratio es mucho menos que en el resto.

El tiempo de preparaciones mensuales es relativamente bajo, lo que nos hace entender o bien que hay pocas preparaciones, lo cual representa una baja flexibilidad de producción o un elevado tiempo de preparación. Esto necesitaría de un análisis de SMED.

Un punto negativo y destacable es el elevado tiempo denominado como otras pérdidas. Esto se entiende como una serie de pérdidas no catalogadas que, sin embargo, afectan notablemente a las operaciones a lo largo de toda la fabricación del producto. Actualmente se está trabajando para desglosar estas pérdidas sin denominación lo antes posible.

Observando la capacidad de proceso se conoce que MAHLE S.A. tiene bien gestionados los turnos necesarios de trabajo basado en la demanda de cliente. Esto permite optimizar al máximo las horas de los operarios sin necesidad de excederse en los costes.

### 3. OBJETIVO

El objetivo principal de MAHLE S.A. es la reducción del Lead Time en un 67,65% para este año 2017. Se pretende alcanzar la cifra de 12 días a partir de la creación de flujo, eliminación de stocks, instalación de supermercados y creación de *buffer*<sup>5</sup>, exclusivamente donde sea necesario. Este objetivo pretende cumplirse para este año, en el próximo año se ha marcado un objetivo de 8 días de Lead Time. Alcanzando así el plazo de entrega de otras líneas de mecanizado de la misma planta, que no son líneas compactas.

Reducir el plazo de entrega supone incrementar el ratio respecto el tiempo de valor añadido, lo que se traduce en una recuperación económica más rápida eliminando los desperdicios que no aportan valor añadido al producto. Los procesos y situaciones que no participen en la transformación de los pistones son pérdidas, hay que eliminarlos.

Se considera otro objetivo mejorar el control interno de la cantidad de pistones, reduciendo el tamaño de los lotes. Además de realizar un correcto FIFO a partir de sistemas de almacenaje en lote a prueba de error. La limitación del lote aumentará el flujo de material, lo cual en el proceso de envejecimiento natural (o Natural Aging en adelante) es una gran ventaja a tener en cuenta.

Se pretende reducir el SMED<sup>6</sup>, o tiempo de preparación, de la máquina de Corte de Coladas (TR-17) en un 75% pasando de 1h a 15 minutos. El objetivo de reducción se debe a la comparativa con otras plantas del Grupo MAHLE en la misma máquina.

Finalmente, como base de los objetivos de MAHLE S.A., se considera razonable instaurar el sistema Pull<sup>7</sup> entre las áreas que lo permitan. Focalizando su atención en el proceso entre fundición y mecanizado.

## **4. ANÁLISIS DE CAUSAS**

### **4.1 Herramienta “5 Porqués” en MAHLE S.A.**

En MAHLE S.A se utiliza esta herramienta, o en su defecto el Diagrama Ishikawa<sup>8</sup> que podemos observar en los anexos, para analizar incisivamente todas las causas que afecten a un problema.

Los “5 Porqués” es una técnica de análisis sistemático a través de la que estudiamos un problema, de forma que se alcanza su causa raíz. Consiste en un sistema continuo de preguntas “¿Por qué?” a un problema. Conocida una causa se cuestiona nuevamente el por qué de ésta, una y otra vez, hasta que se muestra evidente el origen del problema.

El número de repeticiones de la pregunta no debe ser necesariamente 5, podría darse el caso de que se requieran más o menos. La herramienta pretende evitar la inactividad frente a un problema que puede repetirse en el futuro.

La fábrica de Vilanova i la Geltrú ha decidido el uso de esta herramienta para analizar en profundidad las distintas causas, definidas en el Diagrama de Pareto, que afectan al problema de análisis de este proyecto, el elevado plazo de entrega. Para ello se han seleccionado las 3 acciones que más afectan y, además, se ha considerado oportuno analizar las causas del actual tiempo de preparación para la máquina de corte de coladas y la falta de dedicación a este trabajo.

Se define en una tabla, en las filas cada uno de los porqués que se ha decidido analizar y, en las columnas desarrollamos la pregunta tantas veces como se considere necesario para profundizar hasta la raíz de cada problema.

Problema: Lead time elevado					
1. ¿Por qué?	2. ¿Por qué?	3. ¿Por qué?	4. ¿Por qué?	5. ¿Por qué?	
Esperas en almacén de brutos.	Mala planificación de la demanda.	Logística no controla y gestiona correctamente la demanda.	Falta de implicación, firmeza o conocimiento.	No se da el valor correspondiente a la manufactura esbelta.	
	Fundición no hace cambio de producto cuando es necesario.	Evitar preparaciones.	Mayor productividad.		
		Lotes grandes.	Evitar transportes.	Evitar las roturas de stock.	
	Cobran un plus de productividad.	No detener la producción.			
Rotura del flujo. Fresado en L14 y devolver a L15.	Solo hay una máquina que permite ese fresado específico.	Elevado coste de inversión.			
No FIFO en C. Coladas.	Hay descontrol en los lotes.	Lotes grandes.	Evitar transportes.	Evitar roturas de stock.	
		Pistones no contabilizados.	Contenedor no permite cantidad concreta de pistones.	Sistema tradicional de transporte.	
Elevado tiempo de preparación en C. Coladas.	No implementación de las 5S y SMED.	No dedicación completa por parte del departamento MPS.	Desconocimiento de SMED en otras plantas del Grupo MAHLE.		
	No implementación de ideas de mejora.	Ideas difíciles o costosas de aplicar.	Mentalidad enfocada a la mejora automatizada.		

Tabla 7 – 5 Porqués del elevado Lead Time

En MAHLE S.A., al utilizar la herramienta de análisis “5 Porqués” se ha logrado dar con la raíz de los problemas que más afectan al elevado plazo de entrega, en base al Diagrama de Pareto, para la familia de pistones escogida en este proyecto.

La primera causa del problema son las esperas en almacén. Estas esperas se deben a la planificación de la demanda por parte del departamento de logística. Prioriza la demanda de cliente pero no ajusta su producción. Analizando las causas, se ha hallado que viene dado por la mentalidad tradicional de tener un elevado stock para prevenir desviaciones y la falta de flexibilidad por trabajar con lotes grandes. Esto evita el flujo continuo en el proceso y dispara el lead time.

Se produce otra rotura de flujo cuando se habla del pistón BMW 101L50. Este pistón necesita un fresado que únicamente puede operar una de las máquinas de la planta. Esta máquina se encuentra en la línea de mecanizado L14. La causa principal, y evidente, es la falta de maquinaria para realizar la actividad. Causa de ello, es el elevado coste de inversión que supone una nueva fresa con esta especificación.

El no realizar un FIFO en C. Coladas provoca esperas en los pistones, que pueden conllevar hasta un turno de trabajo. Esto se debe a la falta de control de los lotes. Son lotes grandes en los que hay contabilizados los pistones, sin embargo no se puede garantizar que la cantidad escrita y la del interior del lote sean reales. El origen de este mal es la falta de estandarización de la cantidad en un lote en función de la referencia de pistón que contiene. La forma de transportar el producto internamente es por contenedores que pueden abarcar entre 500 y 800 pistones, dependiendo del diámetro de estos.

Finalmente, la siguiente causa estudiada, el elevado tiempo de preparación en corte de coladas. Las causas que provocan este problema es la falta de un análisis SMED en esta máquina. Esto se debe la falta de formación a los operarios y la poca gestión empleada por el departamento de Mahle Production System para la mejora continua de estos tiempos. Las ideas surgidas para su mejora se focalizan notablemente en la inversión de robots u otros sistemas caros de procesamiento.

Conocidas las causas origen del problema es posible considerar unas propuestas de solución para eliminar, en la medida de lo posible, todos aquellos motivos que afecten a nuestro plazo de entrega. Atacar las causas encontradas mediante esta herramienta permite evitar que se repita el problema de análisis.

## **5. CONTRAMEDIDAS PROPUESTAS**

El estudio de este proyecto mediante las herramientas anteriormente utilizadas, ha generado una serie de causas que se deben evitar. El origen, por lo tanto, del lead time viene dado por esperas de almacén, falta de flexibilidad, rotura del flujo y la falta de control de los lotes.

### **5.1 Value Stream Mapping futuro en MAHLE S.A.**

En MAHLE S.A. se ha empleado el Value Stream Mapping actual para conocer la situación actual y por ello, se desarrollará el VSM futuro o Value Stream Design. A partir de esta nueva imagen de la planta, en un estado futuro, se puede realizar una serie de propuestas para mejorar, eliminar o reducir las causas que impiden el flujo continuo en los pistones.

Estudiar un estado futuro en el VSM consiste en conocer el sistema ideal que supondría mejorar nuestro proceso eliminando el stock, siempre que sea posible. Sustituyendo los almacenes por buffer o stock de seguridad, de forma que aumente el flujo entre procesos.

#### **5.1.1 Acciones del VSM actual**

Para comenzar a realizar el Mapa de Flujo futuro, es importante que primero se estudie la situación actual. Una vez conocida la foto del estado actual es necesario encontrar los puntos críticos del proceso.

Las acciones vendrán pautadas por esas situaciones de nuestro proceso que han afectado al aumento del plazo de entrega. Para ello se debe enfocar la gestión de la planta hacia la calidad, el volumen y el coste.

Se pretende lograr un proceso en flujo continuo, en el cual el material no espera para realizar el proceso siguiente. Esto aumenta la velocidad de recuperación de la inversión, reduce el lead time y mejora la relación con el cliente. Para lograr esta meta se utiliza el sistema Pull y las preparaciones rápidas mediante el sistema SMED y la mejora continua.

A continuación se repite el VSM actual presentado anteriormente. En este caso se muestran las acciones que se ha podido encontrar visitando el Gemba<sup>9</sup>. Para representar las mejoras que se desean implementar se hace uso del conocido “Rayo Kaizen”<sup>10</sup>.

MAHLE S.A. utiliza la simbología más conocida del Value Stream Mapping. Con esta herramienta se define el proceso cuello de botella y las zonas de desperdicio tanto de producto como de recursos.

A partir de estas observaciones se puede crear un Value Stream Mapping futuro que represente la situación objetivo a alcanzar. Para ello se calculan los máximos y mínimos de inventario, se estudian las áreas que requieren un sistema Pull y cuales pueden permitirse un sistema Push.

Reducción del Lead Time en la fábrica MAHLE S.A. aplicando el Value Stream Mapping  
Xavier Carmona Pardo

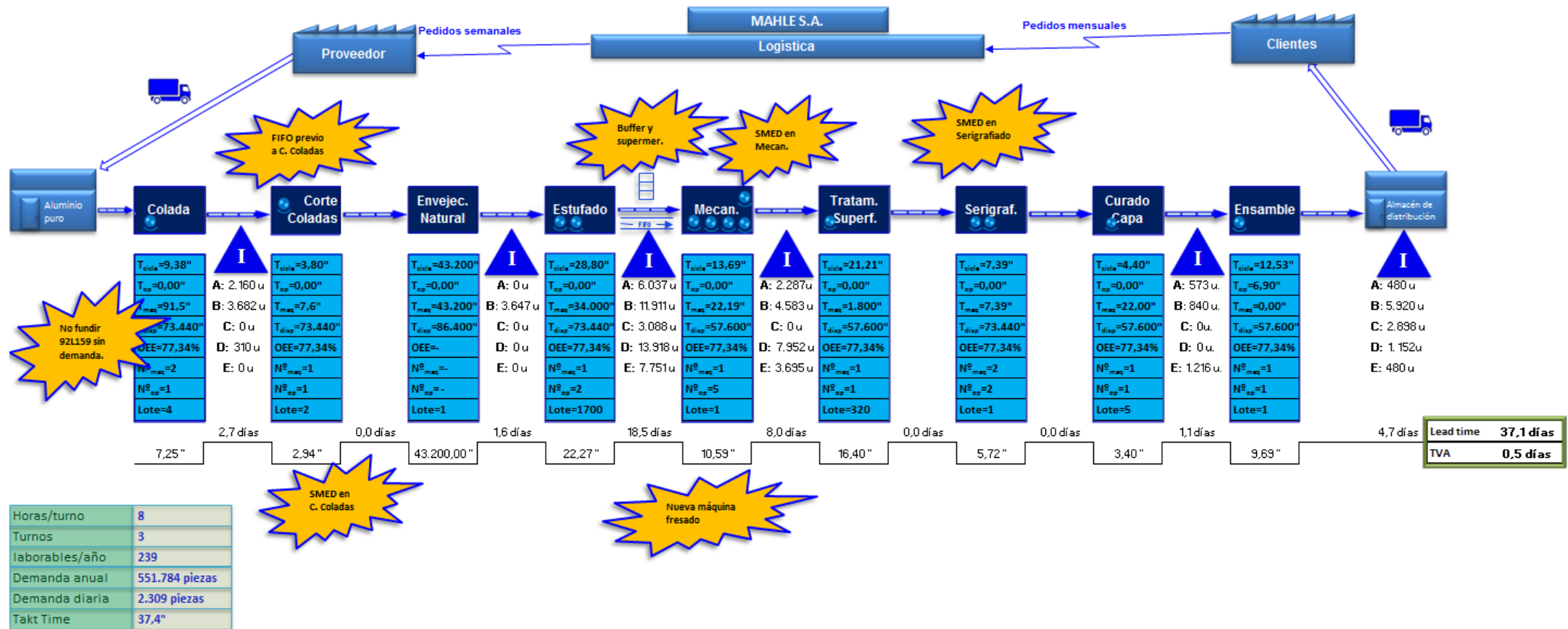


Imagen 11 – VSM Actual y Kaizen



### 5.1.2 Soluciones propuestas

Se parte del VSM actual para identificar las áreas que requerirán la dedicación e inversión por parte de la empresa. Si se logra controlar el stock entre las actividades y limitar la espera del producto se obtendrá una mejora notable en el plazo de entrega. Identificando la situación ideal y contraponiéndola con el Value Stream Mapping actual se pueden definir una estrategia de implementación. Para ello se consideran las soluciones necesarias para poder reducir este problema y prevenir futuras situaciones.

A continuación se muestran las diferentes soluciones propuestas en la implementación del proyecto del VSM.

Nº	Soluciones propuestas
1	Buffer frente a C. Coladas y Supermercado entre Estufado y L15.
2	Nueva máquina de fresado en L14. Aumento demanda L14.
3	Sistema de lote controlado con FIFO instaurado en contenedor.
4	Control SMED en C. Coladas. 5S, mejoras y "Diagrama spaghetti".
5	No fundir el pistón con referencia 92L159.
6	SMED en serigrafiado y mecanizado.
7	Integrar sistema de serigrafiado en L15.
8	Ensamblado automático de los segmentos para los pistones 72L65 y 101L50.

Tabla 8 – Soluciones propuestas

Conocidas las distintas acciones posibles de mejora debe considerarse su relevancia y efectividad. Eso por eso que se utiliza el diagrama Coste-Tiempo, el cual pretende simplificar, de una forma visual, la viabilidad y relevancia de aplicar unas u otras de las soluciones propuestas.

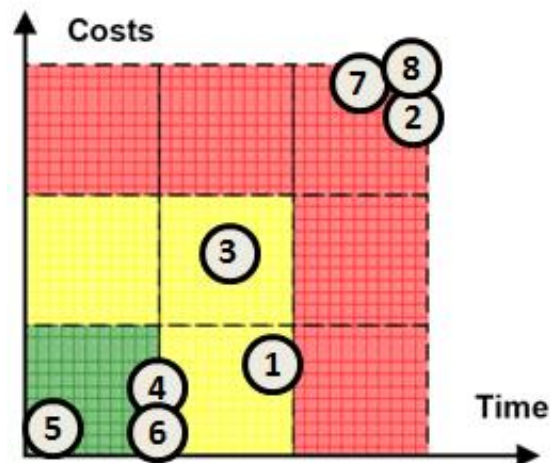


Gráfico 3 – Diagrama Coste-Tiempo

Para el desarrollo de este gráfico se debe comprender las necesidades que requieren las acciones surgidas. La instalación de nuevos sistemas o máquinas quedarán en la zona de mayor coste y tiempo debido al tiempo de espera de compra e instalación. Las propuestas que suponen un nuevo sistema de trabajo y gestión se consideran propuestas de coste medio y dedicación media. Finalmente, las soluciones centradas en el seguimiento y logística se consideran de menor coste y de rápida implementación.

### 5.1.3 Cálculo de stock

El exceso de inventario que se halla entre los procesos de estufado y mecanizado supone el problema principal en cuanto al elevado plazo de entrega a cliente. La situación actual expone que los días de stock en este almacén es de 18,5 días a lo que hay que sumarle los 2,7 días frente a corte de coladas y los 4,7 días en el almacén de distribución.

Debido a esta cantidad de inventario se ocultan el resto de desperdicios y problemas en la fábrica, es por ello que esta se ha considerado una de las acciones más relevantes a desempeñar. La máquina de C. Coladas permite una elevada productividad diaria, abasteciendo a todas las líneas de mecanizado. Tras este proceso se sucede el estufado con una duración de 8 horas, a continuación el producto queda a la espera de ser consumido en el almacén intermedio.

La elevada productividad del área permite plantear la creación de un buffer stock<sup>11</sup> frente al proceso de corte de coladas apoyándose en un supermercado<sup>12</sup> frente a la L15, línea de estudio para este proyecto.

El supermercado corresponde con el punto de pedido. El punto de pedido se define como la cantidad de existencias que, una vez alcanzada, deberemos realizar una orden de reposición. Esta situación debe considerarse en base al buffer stock (B), safety stock<sup>13</sup>(S), y el consumo o stock de ciclo (C).

Nuestro supermercado estará definido por un stock mínimo, que se calcula como la suma de los tres stocks citados anteriormente. El inventario máximo será el mínimo más el lote de producción.

A continuación se desarrollan las ecuaciones necesarias para el cálculo del supermercado.

$$\text{Supermercado} = \text{Stock de ciclo}(C) + \text{Buffer stock}(B) + \text{Safety Stock}(S)$$

$$\text{Stock}_{\max} = \text{Supermercado} + \text{Lote de producción}$$

Dónde:

$$\text{Stock de ciclo } (C) = \text{Demanda media}(\mu) \cdot \text{Tiempo de reposición}$$

$$\text{Buffer Stock } (B) = \frac{3 \cdot \text{desviación estándar } (\sigma)}{\text{Demanda media}} \cdot \text{Stock de ciclo } (C)$$

$$\text{Safety stock } (S) = \text{Rechazo } (\%) \cdot \text{Stock de ciclo } (C)$$

El supermercado siempre debe contener la cantidad necesaria para cubrir las demandas de cliente en todas sus referencias. Por ello cada uno de los cálculos se realiza por cada referencia de pistón.

La demanda referenciada, por requisito de la empresa, corresponde a la demanda consumida por la línea de mecanizado, mientras que el tiempo de reposición corresponde al tiempo necesario para rellenar este supermercado.

En la siguiente tabla se muestran todos los datos necesarios para los siguientes cálculos. Las ecuaciones necesarias para los valores de la demanda media y desviación estándar no se presentan en este proyecto por considerarse conocidas.

Referencia	Tiempo de reposición [días]	Demanda media ( $\mu$ ) [pistones]	Desviación estándar ( $\sigma$ ) [pistones]	Nivel de $\sigma$	Rechazo* [%]
<b>72L65</b>	1,5	1.123,90	79,6	3	7
<b>83L150</b>	2	1.304,44	138,0	3	7
<b>92L159</b>	2	808,33	49,2	3	7
<b>98L94</b>	2	1.066,91	34,5	3	7
<b>101L50</b>	1,5	868,79	113,7	3	7

Tabla 9 –Datos para cálculo de stock

\*El 7 % de rechazo se ha considerado en base al máximo registrado (enero 2017) de un 6,67% de rechazo acumulado.

Se puede proceder al cálculo del stock de ciclo o consumo, este stock requiere conocer el cálculo de la demanda media semanal, pues es el periodo de envío que requieren los clientes de MAHLE S.A. Para ello se realiza el seguimiento de la demanda en un periodo de dos meses para los distintos clientes.

$$C_{72} = \mu_{72} \cdot \text{Tiempo de reposición}_{72} = 1.123,90 \cdot 1,5 = 1.686 \text{ pistones}$$

$$C_{83} = \mu_{83} \cdot \text{Tiempo de reposición}_{83} = 1.304,44 \cdot 2 = 2.609 \text{ pistones}$$

$$C_{92} = \mu_{92} \cdot \text{Tiempo de reposición}_{92} = 808,33 \cdot 2 = 1.617 \text{ pistones}$$

$$C_{98} = \mu_{98} \cdot \text{Tiempo de reposición}_{98} = 1.066,91 \cdot 2 = 2.134 \text{ pistones}$$

$$C_{101} = \mu_{101} \cdot \text{Tiempo de reposición}_{101} = 868,79 \cdot 1,5 = 1.304 \text{ pistones}$$

\* Los valores son redondeados al alza en todos los cálculos correspondientes a este apartado (5.1.3).

El buffer stock protege a la empresa de la variación de la demanda, por lo que se necesita conocer la desviación estándar de ésta además de un nivel de sigma para cubrir esta desviación. El nivel de sigma se considera en base al porcentaje de variación de la demanda que se desea cubrir:

$$\pm 1\sigma = 68,27\%$$

$$\pm 2\sigma = 95,45\%$$

$$\pm 3\sigma = 99,73\%$$

En MAHLE S.A. se trabaja con un nivel de sigma 3 para todas las referencias, ya que el sector de la automoción es un sector muy estricto en cuanto a los plazos de entrega y reclamaciones. La elevada presión de las empresas cliente con las que trabaja el Grupo Mahle obliga a tener siempre a tiempo el producto acabado.

$$B_{72} = \frac{3\sigma_{72}}{\mu_{72}} \cdot C_{72} = \frac{3 \cdot 79,6}{1.123,90} \cdot 1.686 = 359 \text{ pistones}$$

$$B_{83} = \frac{3\sigma_{83}}{\mu_{83}} \cdot C_{83} = \frac{3 \cdot 138,0}{1.304,44} \cdot 2.609 = 829 \text{ pistones}$$

$$B_{92} = \frac{3\sigma_{92}}{\mu_{92}} \cdot C_{92} = \frac{(3 \cdot 49,2)}{808,33} \cdot 1.617 = 296 \text{ pistones}$$

$$B_{98} = \frac{3\sigma_{98}}{\mu_{98}} \cdot C_{98} = \frac{3 \cdot 34,5}{1.066,91} \cdot 2.134 = 207 \text{ pistones}$$

$$B_{101} = \frac{3\sigma_{101}}{\mu_{101}} \cdot C_{101} = \frac{3 \cdot 113,7}{868,79} \cdot 1.304 = 512 \text{ pistones}$$

El último paso necesario para tener un cálculo completo del supermercado pasa por el safety stock. La necesidad de este stock se debe a las posibles variaciones en el proceso interno de fabricación como son piezas de rechazo, averías y otras pérdidas que afectan al OEE de producción.

$$S_{72} = \text{Rechazo}_{72}(\text{en tanto por uno}) \cdot C_{72} = 0,07 \cdot 1.686 = 119 \text{ pistones}$$

$$S_{83} = \text{Rechazo}_{83}(\text{en tanto por uno}) \cdot C_{83} = 0,07 \cdot 2.609 = 183 \text{ pistones}$$

$$S_{92} = \text{Rechazo}_{92}(\text{en tanto por uno}) \cdot C_{92} = 0,07 \cdot 1.617 = 114 \text{ pistones}$$

$$S_{98} = \text{Rechazo}_{98}(\text{en tanto por uno}) \cdot C_{98} = 0,07 \cdot 2.134 = 150 \text{ pistones}$$

$$S_{101} = \text{Rechazo}_{101}(\text{en tanto por uno}) \cdot C_{101} = 0,07 \cdot 1.304 = 92 \text{ pistones}$$

Se han calculado los términos C, B y S correspondientes a las distintas variaciones de la demanda. El sistema de supermercado consiste en el envío de una orden al alcanzar un número determinado de cantidad de pistones a partir del cual se lanza la orden de relleno, es decir, la orden de necesidad de volver a fabricar una referencia concreta de pistón.

A continuación, se detalla el cálculo del supermercado necesario.

$$\text{Supermercado}_{72} = C_{72} + B_{72} + S_{72} = 1.686 + 359 + 119 = 2.164 \text{ pistones}$$

$$\text{Supermercado}_{83} = C_{83} + B_{83} + S_{83} = 2.609 + 829 + 183 = 3.621 \text{ pistones}$$

$$\text{Supermercado}_{92} = C_{92} + B_{92} + S_{92} = 1.617 + 296 + 114 = 2.027 \text{ pistones}$$

$$\text{Supermercado}_{98} = C_{98} + B_{98} + S_{98} = 2.134 + 207 + 150 = 2.491 \text{ pistones}$$

$$\text{Supermercado}_{101} = C_{101} + B_{101} + S_{101} = 1.304 + 512 + 92 = 1.908 \text{ pistones}$$

Los cálculos se representan en la tabla siguiente a modo de resumen para facilitar la presentación y comprensión de éstos.

Referencia	Stock de ciclo [pistones]	Buffer Stock [pistones]	Safety Stock [pistones]	Supermercado [pistones]
<b>72L65</b>	1.686	359	119	2.164
<b>83L150</b>	2.609	829	183	3.621
<b>92L159</b>	1.617	296	114	2.027
<b>98L94</b>	2.134	207	150	2.491
<b>101L50</b>	1.304	512	92	1.908
<b>TOTAL</b>	9.350	2.203	658	12.211

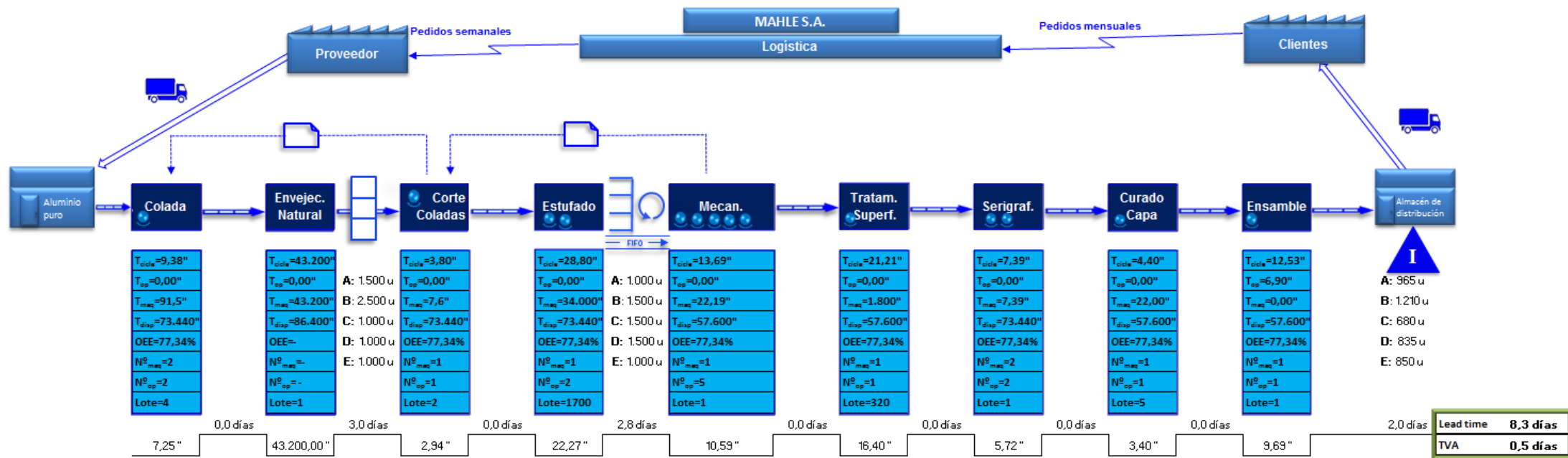
Tabla 10 – Stock en cantidad de pistones

Debido al elevado tiempo de respuesta que supone abastecer este supermercado nos topamos con un stock, en días, de 5,3 días que resulta de los 12.211 pistones almacenados para el takt time de 2.309 piezas que nos exige cliente. Se considera un stock relativamente elevado para tenerlo frente a las líneas de mecanizado, por lo que se analiza la posibilidad de mantener la demanda de dos turnos. Y el resto del buffer se almacenará previo al corte de coladas, durante el proceso de envejecimiento.

El lote se compone de 500 unidades, por lo que el inventario total de buffer y supermercado asciende a los 5,8 días. Distribuyendo 3,0 días en el buffer frente a corte de coladas y 2,8 días en el supermercado frente a la línea de mecanizado, lo cual equivale a un turno y medio de trabajo. Una vez la L15 envía la señal Kanban a C. de Coladas, este tarda 8h para para el estufado en todas las referencias a excepción de las de moto.

Los datos obtenidos en estos cálculos se trasladan al Value Stream Mapping futuro, con tal de poder extraer una situación futura de nuestro proceso.

Reducción del Lead Time en la fábrica MAHLE S.A. aplicando el Value Stream Mapping  
Xavier Carmona Pardo



Horas/turno	8
Turnos	3
laborables/año	239
Demanda anual	551.784 piezas
Demanda diaria	2.309 piezas
Takt Time	37,4"

Referencia	Letra
72L65	A
83L150	B
92L159	C
98L94	D
101L50	E

Imagen 12 – Value Stream Mapping Futuro de MAHLE S.A.

El lead time calculado en el VSM futuro considerado reduciría los 37,1 días a 8,3 días, lo que supone una reducción del 77,63%. Esta situación es una reducción superior al objetivo marcado por MAHLE S.A. que se estimó en los 12 días para 2018. Por lo tanto, la reducción del 67,65% en el plazo de entrega que se ha definido en este proyecto es una meta alcanzable.

Por parte de la dirección de la empresa, se conoce que la reducción del lote de producción a la mitad reduciría notablemente el stock intermedio y afectaría de manera directa al lead time. Sin embargo, para el estudio a corto y medio plazo no estima el diseño de este nuevo lote dejando el lead time en los 8,3 días del VSM futuro.

El cálculo del buffer y el supermercado contempla las referencias 92L159 y 101L50 que, actualmente, se encuentran en un decrecimiento de la demanda notable. Sin embargo, el tipo de proceso exige mantener este supermercado debido a la gran cantidad de referencias con las que trabaja esta línea de mecanizado.

El envejecimiento natural del pistón se inicia en el instante en que solidifica, colocando el buffer tras este proceso y gracias a la elevada productividad del proceso de Corte de Coladas, se consigue reducir el tiempo de entrega a la L15. Limitando la cantidad de pistones en este punto incrementamos el inventario de 2,7 días a los 3,5 días, sin embargo, reducimos el almacén intermedio entre mecanizado y fundición de los 18,5 días a la suma del buffer y el supermercado. Esto supone una reducción del 64,87% la cantidad total de pistones almacenados antes del proceso de mecanizado, únicamente para la línea correspondiente al análisis de este proyecto.

La forma de darle una mayor relevancia a la instauración del supermercado es situarlo en el área de mecanizado, antes de la línea. Provoca un impacto más visual y facilita la concienciación de los operarios y mandos del control del stock que debemos mantener. Esta propuesta surge del problema de falta de conocimiento por parte de los mandos que supone la producción en Push. Además, facilita la gestión y control del supermercado.

El inventario necesario para el almacén de distribución se ha calculado de igual manera dejando un stock de 2,0 días en base al lote de trabajo actual tras el proceso de ensamblaje. El tamaño del lote utilizado en este almacén son los denominados KLT que almacenan las piezas en 10 unidades.

## 6. PLAN DE ACCIÓN

Las acciones planteadas anteriormente surgen de una lluvia de ideas realizada junto con el equipo dedicado al control del proceso para la familia de pistones que se estudia en el presente proyecto.

El diagrama costes-tiempo permite a la empresa MAHLE S.A. conocer, en términos generales, la viabilidad de cada una de las soluciones propuestas en base a la velocidad de implementación. Esto facilita la toma de decisiones por parte del equipo directivo y las necesidades de la planta.

Se ha decidido implementar las acciones numeradas de la 1 a la 5 en la tabla anterior (Tabla 8). Destacando la posible inviabilidad de la acción número 2, la cual se corresponde con la instalación de una nueva máquina de fresado, debido a la gran inversión en coste y tiempo. Sin embargo esta segunda acción se ha acordado su implantación.

Así como las dos soluciones en el área en rojo del diagrama coste-tiempo (Gráfico 3), correspondientes a los números 7 y 8, no han sido aprobadas por la dirección, se ha considerado necesaria la instalación de esta nueva fresa. Para la toma de esta decisión ha participado la línea de mecanizado L14, no perteneciente al análisis de este proyecto, que prevé un gran aumento de la demanda para el año 2018.

La acción que supone la no fundición del pistón 92L159 si no es bajo demanda, propuesta de solución número 5, actualmente ya se realiza en la fábrica. Debido a un exceso de planificación logística se cometió el error de considerar que el área de fundición se vería desbordada en demanda por lo que se programó un adelanto de colada para esta referencia. Por motivos ajenos a este proyecto se ha producido un cambio en el departamento de logística correspondiente al puesto de jefe de éste. Sin embargo, esta acción no se ha visto afectada por ello.

La planificación de las acciones a implementar se organiza mediante el Diagrama de Gantt y la definición de los responsables de cada proyecto de solución. El Diagrama de Gantt es un gráfico que expone la previsión del tiempo de dedicación necesario para todas las acciones requeridas en la implementación de un proyecto. Este diagrama es el más utilizado por las empresas para mantener un seguimiento orientativo.

### 6.1 Buffer y Supermercado

El desarrollo de la propuesta de la implantación de un buffer y un supermercado ha sido descrito en el apartado anterior (5.1.3 Cálculo de stock, páginas 35-39), por motivo de necesidad para el diseño del Value Stream Mapping futuro.

Esta propuesta de solución se ha considerado una de las más importantes, por parte de MAHLE S.A., puesto que afecta directamente al plazo de entrega y permite la reducción de un almacén intermedio que acumula el 48,28% del lead time. El coste es relativamente bajo pues la inversión económica se centra en el diseño de sistemas guía para el supermercado y estanterías estandarizadas en el buffer. El principal problema es el tiempo de implementación ya que requiere de una buena planificación, cálculos y tiempo de adaptación, tanto para los operarios como el departamento de logística.



### 6.1.1 Diagrama de Gantt y responsable

La responsabilidad de esta solución propuesta corresponde a Jordi Ruiz, actual jefe del departamento de logística de MAHLE S.A. por su condición laboral. Sin embargo, tanto los cálculos de inventario como la organización de la nueva implementación forman parte del trabajo del departamento MPS, al cual pertenece el autor del proyecto. En este estudio la dedicación y fechas son orientativas, impuestas por la dirección de MAHLE S.A. junto con el departamento Mahle Production System.

Acciones	Fecha inicio	Duración	Fin
Cálculo del stock actual	12-jun-17	1	13-jun-17
Presentación de los datos actuales	15-jun-17	1	16-jun-17
Seguimiento del stock	3-jul-17	116	27-oct-17
Exponer los resultados de seguimiento	2-nov-17	1	3-nov-17
Organización del buffer y supermercado	6-nov-17	2	8-nov-17
Cálculo del stock necesario	9-nov-17	21	30-nov-17
Defensa de los resultados	6-dic-17	1	7-dic-17
Conseguir espacio físico	15-dic-17	31	15-ene-18
Implementación en L15	9-feb-18	21	2-mar-18
Estudio de los resultados	5-mar-18	3	8-mar-18
Presentación de los resultados	12-mar-18	1	13-mar-18
Análisis de implementación en toda la planta	7-may-18	81	27-jul-18

Tabla 11 – Dedicación de la solución propuesta. Buffer y Supermercado

Se trasladan los datos al Diagrama de Gantt para obtener una mejor comprensión de la dedicación de las acciones.

### Diagrama de Gantt - Buffer y Supermercado

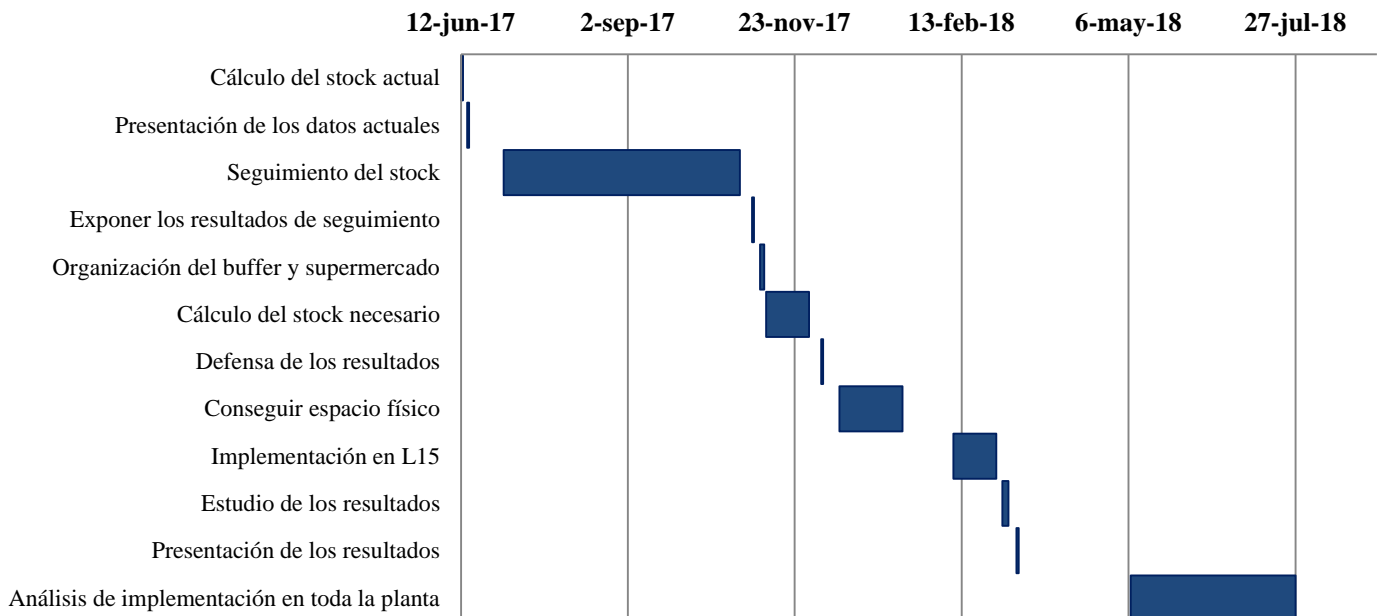


Gráfico 4 – Diagrama de Gantt. Buffer y Supermercado

## 6.2 Máquina de fresado

Esta propuesta de solución se puede considerar una decisión incorrecta para el sistema productivo Lean. Implementar una acción de mejora que supone una muy elevada inversión económica y, de igual forma, una muy elevada dedicación por parte de MAHLE S.A. se opone frontalmente contra la mentalidad de la manufactura esbelta. Lean pretende realizar acciones económicas y en un breve espacio de tiempo para recuperar nuestra inversión a la mayor brevedad posible.

La demanda del pistón BMW 101L50, se ha reducido en el último trimestre del año. La previsión para esta referencia es desaparecer de las demandas de cliente. Esto expone en manifiesto la necesidad de esta nueva máquina de fresado.

Esta acción se justifica con el aumento del 39,7% en la demanda de la línea de mecanizado L14. Esta familia de producto ha pasado de las 697.209 unidades en 2017 a una demanda de 961.728 para el próximo año. Es por ello que, pese a la reducción de la demanda para la L15, el gran aumento de demanda para esta línea de mecanizado ha obligado a MAHLE S.A. a plantearse esta vía.

### 6.2.1 Presupuesto

A pesar de la estricta confidencialidad por parte del Grupo Mahle, la empresa de Vilanova i la Geltrú ha permitido presentar el presupuesto de esta máquina, sin dar detalles técnicos. El departamento de ingeniería, dedicado al estudio de la viabilidad de esta solución, ha facilitado los siguientes datos sobre el presupuesto de inversión.

#### Inversiones 2017 Noviembre

Texto breve	Orden inversión	Gastos reales	Gastos estimados
L14 Acquisition	7074469	100.257,00€	101.000,00€
L14 Integration	7074469	21.671,60€	29.000,00€

Tabla 12 – Presupuesto Máquina nueva de fresado L14

### 6.2.2 Diagrama de Gantt y responsable

La responsabilidad de la instalación de la nueva máquina de fresado compete al equipo directivo, departamento de ingeniería y departamento MPS. Sin embargo se ha asignado la responsabilidad del proyecto Thorsten Rauschopf por su puesto en la planta como jefe del departamento de ingeniería.

Acciones	Fecha inicio	Duración	Fin
Análisis del problema de demanda	8-may-17	7	15-may-17
Búsqueda técnica de una solución	16-may-17	16	1-jun-17
Presentación de la solución	6-jun-17	1	7-jun-17
Estudio de la necesidad de la inversión	9-jun-17	1	10-jun-17
Estudio de la viabilidad económica	12-jun-17	24	6-jul-17
Inversión	10-jul-17	1	11-jul-17
Instalación de la máquina	28-ago-17	23	20-sep-17
Puesta en marcha	20-sep-17	3	23-sep-17
Comprobación de los resultados	25-sep-17	4	29-sep-17

Tabla 13 – Dedicación de la solución propuesta. Máquina de fresado

Se obtiene un Diagrama de Gantt con la siguiente repartición del tiempo de dedicación.

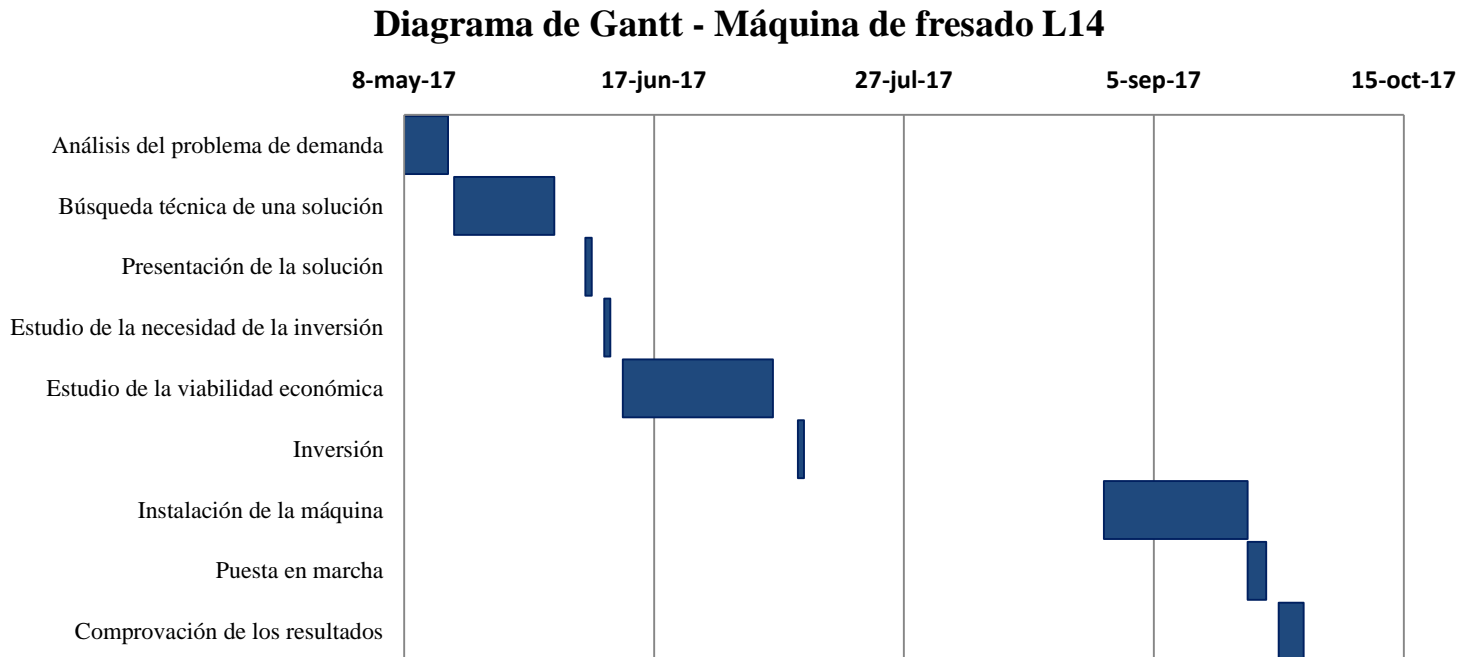


Gráfico 5 – Diagrama de Gantt. Máquina de fresado

### 6.3 Reducción del lote de producción

El problema que implica un lote de producción grande son varios. El primero y más notable puede relacionarse directamente con el plazo de entrega debido al tiempo de espera del primer pistón fabricado hasta el último de este mismo lote.

En caso de una necesidad urgente de cliente, el sistema de trabajo tradicional de lotes grandes obliga a la fábrica a esperar hasta llenar el lote para poder realizar el cambio de producto correspondiente. Por lo tanto, es una rotura constante del flujo de material.

La especificación de material del cliente de MAHLE S.A. obliga a la familia de productos de estudio, a realizar un periodo de envejecimiento natural de 12 horas. Este proceso de estabilización se inicia desde el instante en que la maquinaria de fundición abre el molde para extraer la pieza en bruto. Cada turno de fundición fabrica entorno a un lote de producción. Trabajar con contenedores de 500 unidades supone una pérdida directa de un turno, 8 horas, para el primer pistón que ha sido colado.

Esto se traduce como, 8 horas del proceso de Natural Aging de las 12 horas requeridas en el primer pistón. Cuando el último colado haya finalizado este proceso, la primera unidad habrá realizado 20 horas de envejecimiento natural.

Por motivo del elevado tiempo de preparación de las líneas de mecanizado, el departamento de logística, junto con el departamento MPS han considerado realizar una prueba piloto con un lote de producción reducido a las 250 unidades. Esta reducción del lote al 50% permite aumentar el nivel de flujo y reducir las esperas.

Actualmente, se ha creado un Equipo de Mejora Continua (EMC) formado por distintos trabajadores de MAHLE S.A., dirigido por Wilfried Rendler, jefe de operaciones y por el departamento MPS. Este equipo se ha creado para el análisis SMED en las líneas de mecanizado pretendiendo así reducir los tiempos de preparación y poder adaptar la producción en lotes más pequeños.

### 6.3.1 Diagrama de Gantt y responsable

El responsable directo de esta propuesta de solución es Manuel Pineda, jefe del departamento Mahle Production System y con apoyo del departamento de operaciones y logística.

Las fechas previstas por la fábrica son las presentadas en la siguiente tabla y graficadas en el posterior Diagrama de Gantt.

Acciones	Fecha inicio	Duración	Fin
Análisis del problema	15-jun-17	7	22-jun-17
Brainstorming	3-jul-17	1	4-jul-17
Análisis de la solución propuesta	28-ago-17	42	9-oct-17
Diseño de nuevos lotes	16-nov-17	102	26-feb-18
Aprobación del nuevo diseño	20-mar-18	1	21-mar-18
Implantación de una prueba piloto	29-mar-18	81	18-jun-18
Presentación de los resultados	28-jun-18	1	29-jun-18
Expansión del proyecto a otras líneas	2-jul-18	91	1-oct-18

Tabla 14 – Dedicación de la solución propuesta. Reducción del lote

### Diagrama de Gantt - Reducción del Lote

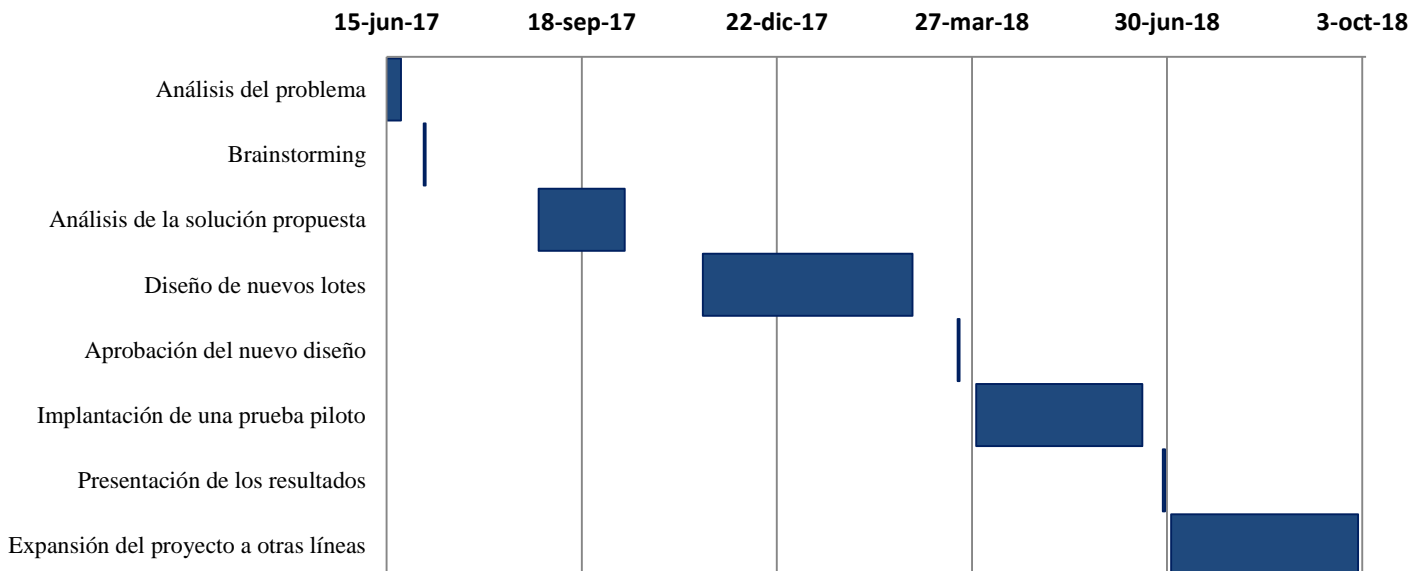


Gráfico 6 – Diagrama de Gantt. Reducción del Lote

## 6.4 SMED en Corte de Coladas

El tiempo invertido en las preparaciones en el proceso de Corte de Coladas ronda los 60 minutos de dedicación necesarios para pasar del pistón más grande diésel al más pequeño gasolina. Esto supone el tiempo máximo de preparación para un cambio de referencia en la planta de MAHLE S.A.

La máquina TR-17, utilizada para este proceso, contiene cuatro sierras circulares con el final de, una vez bien ajustado, poder realizar un corte horizontal y otro vertical. Ambos cortes permiten la separación de las mazarotas del proceso de colada.

Cada colada contiene dos pistones para las referencias de la familia de estudio que serán separadas mediante el corte de la TR-17. Sin embargo, otras máquinas de la misma planta contienen un robot KUKA que realiza el corte una vez finalizado el proceso de solidificación antes de finalizar el proceso completo de esa máquina. Esto evita sobrecargar el área de corte de coladas.

En la visita de la auditoría interna del Grupo Mahle, proveniente de la planta de Stuttgart (Alemania), surge el debate de análisis sobre el tiempo de preparación para la TR-17. Los auditores notan una desviación notable en los cambios de producto en comparación a las preparaciones del resto de plantas del grupo. El promedio en las otras plantas del grupo para esta misma máquina ronda los 15 minutos.

Esto lleva a MAHLE S.A. a plantear un equipo de SMED dedicado, en exclusiva, al área de corte de coladas. En el equipo intervienen los operarios y responsables del área en cuestión, además del departamento Mahle Production System como soporte del proyecto.

### 6.4.1 Diagrama de Gantt y responsable

El responsable de este proyecto es Jaume Vilalta, responsable a su vez del área de Corte de Coladas.

Las acciones definidas para el proyecto SMED en el proceso de Corte de Coladas son las mostradas a continuación en la tabla.

<b>Acciones</b>	<b>Fecha inicio</b>	<b>Duración</b>	<b>Fin</b>
Definición de un equipo SMED	13-jul.-17	1	14-jul.-17
Toma de tiempos y diagrama espaguetti	17-jul.-17	4	21-jul.-17
Estudio de las ideas de mejora	25-jul.-17	3	28-jul.-17
Implantación de las ideas	1-ago.-17	24	25-ago.-17
Seguimiento de los resultados	28-ago.-17	4	1-sep.-17
Presentación de los resultados	5-sep.-17	1	6-sep.-17

Tabla 15- Dedicación de la solución propuesta. SMED en C. de Coladas

Las ideas de mejora presentadas en el proyecto SMED surgen desde la implementación del sistema 5S hasta ideas de mejora para el cambio de herramientas más rápido, separación de los procesos internos y externos de preparación. Todas estas ideas de mejora surgen del propio operario con la ayuda del departamento MPS, ingeniería y el equipo directivo para su implementación.

Alguna de las propuestas surgidas, como ejemplo, son la instalación de tornillería más corta para reducir el tiempo de roscado en el cambio de herramienta, así como sistemas de extracción rápida u otros.

A continuación, los gráficos se traspasan al Diagrama de Gantt para visualizar con mayor claridad el tiempo de dedicación de cada una de las acciones.

### Diagrama de Gantt - SMED en C. de Coladas

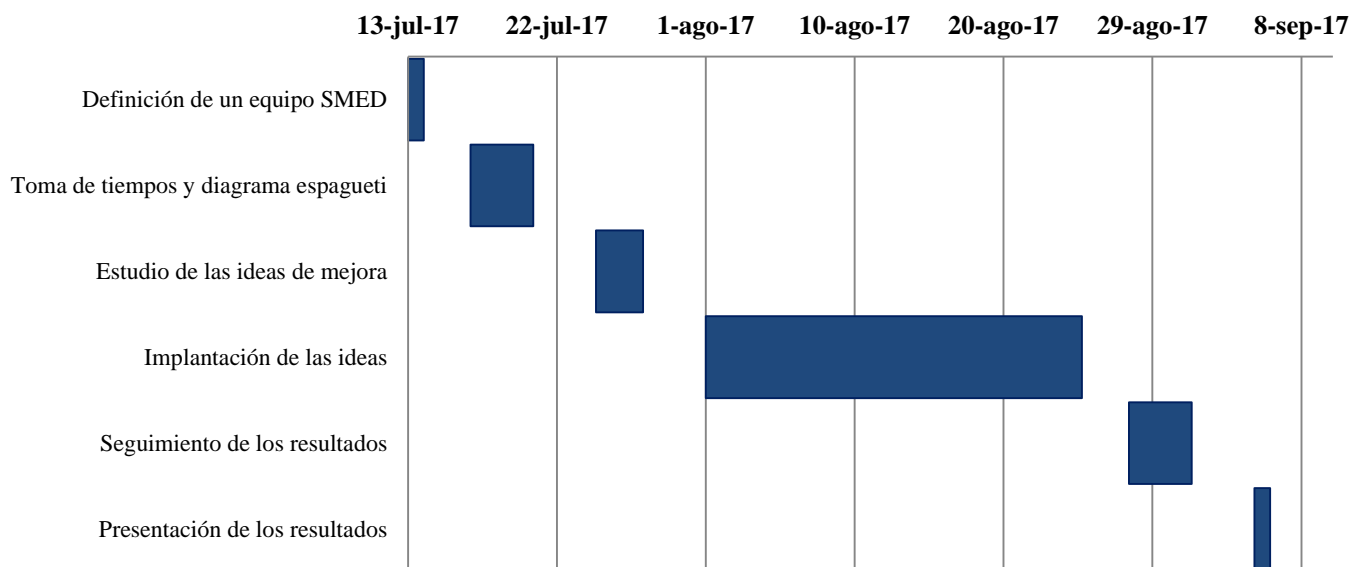


Gráfico 7 – Diagrama de Gantt. SMED en C. de Coladas

## 7. SEGUIMIENTO

El seguimiento de las acciones implementadas es un aspecto fundamental de un proyecto como el de este trabajo. Se necesita comprobar la viabilidad de las acciones y permite realizar una comparativa de la situación con el objetivo de MAHLE S.A.

Las fechas planificadas por el equipo directivo y los distintos equipos de trabajo internos de cada solución propuesta se contraponen con la entrega del trabajo final de grado, por lo que no se puede obtener un pleno seguimiento de alguna de las acciones. A pesar de ello, se presentará el seguimiento de las acciones que sean posibles. Para las actividades fuera de plazo se expondrán los resultados obtenidos hasta la fecha.

Este contratiempo se debe a un aumento de la demanda, ya planificada con anterioridad, lo cual exige a todos los empleados de MAHLE S.A. a realizar turnos extra además de centrarse, exclusivamente, en la fabricación de pistones.

### 7.1 Buffer y Supermercado

La acción correspondiente a la instalación de un buffer y un supermercado requiere una justificación muy clara para la empresa. Esto se ha logrado a través de un seguimiento mensual desde el mes de julio hasta octubre del mismo año. Este seguimiento corresponde a una foto a partir de los datos cedidos por controlling y con la ayuda del departamento MPS que contabiliza la cantidad de pistones en la planta.

Observamos en el siguiente gráfico que todos los meses el lead time ronda los 40 días. A excepción del mes de agosto de 2017, debido al cierre de la planta lo cual reduce la demanda y con él, la necesidad de fabricación. Por ello se ajusta el lead time entorno a los 30 días para ese mes y se dobla el tiempo de Valor Añadido hasta el 2,79%.

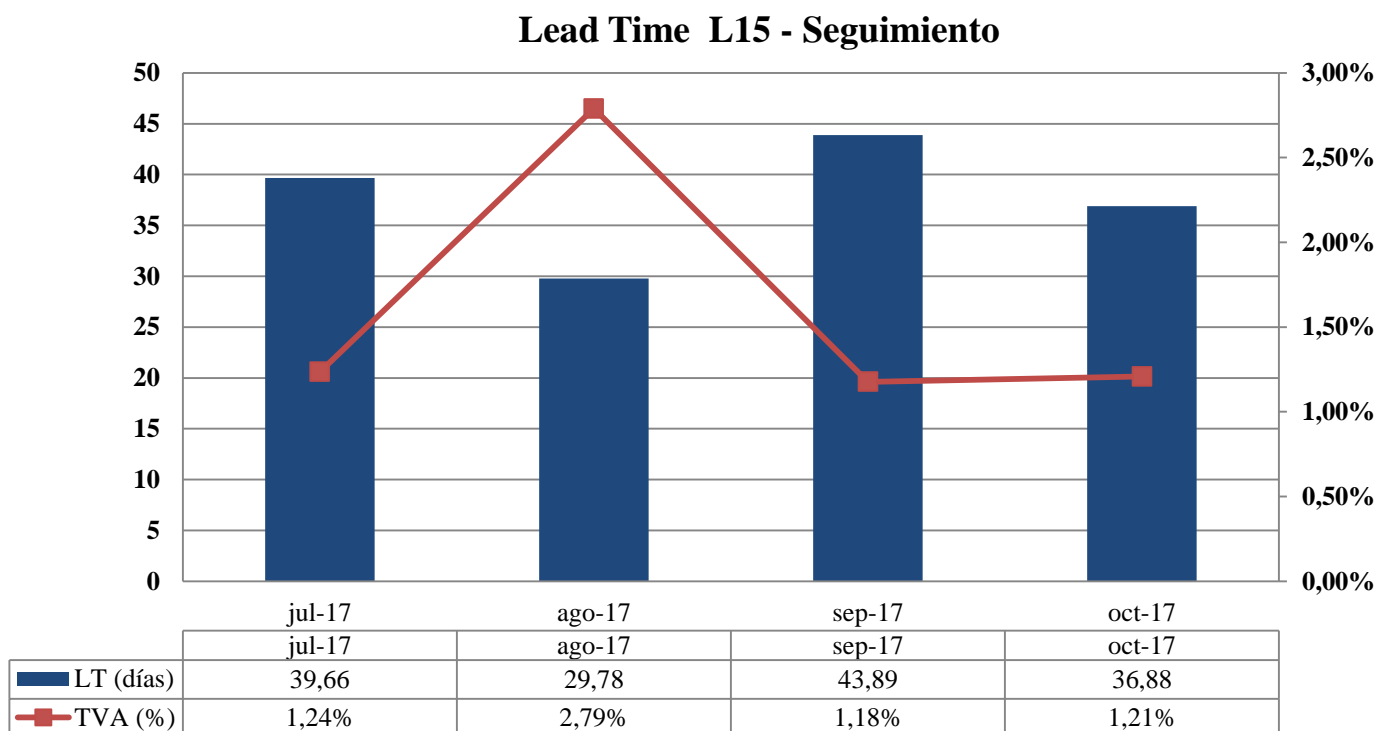


Gráfico 8 – Seguimiento del Lead Time L15

Una vez se ha logrado justificar a la dirección de MAHLE S.A. que no ha sido un caso aislado de estudio, sino un hecho habitual, se puede trabajar con la ayuda del equipo directivo para reducir estos stock tan elevados.

Actualmente, se está realizando un documento Excel que permitirá en un futuro crear un VSM de la situación actual para cada mes. Este seguimiento se realizará introduciendo la cantidad de pistones acumulada entre los procesos de forma que vincule al documento de Value Stream Mapping sustituyendo los datos anteriores por los actualizados.

La acción de este proyecto más actual consiste en retirar material innecesario de la planta como son máquinas en desuso y obsoletas para obtener el espacio que se utilizará a partir del 2018 para instalar el buffer.



Imagen 13 – Espacio físico para el buffer



## 7.2 Máquina de fresado

El seguimiento de esta acción se puede conseguir revisando los datos de OEE obtenidos en la planta desde la instalación de la máquina, así como la reducción del stock frente a la L14 del pistón 101L50.



Imagen 14 –Máquina de fresado (L14)

A continuación se muestra la demanda para el pistón 101L50 de BMW, el cual ha sufrido un decrecimiento del 57,89% pasando de 4.560 unidades en julio a 1.920 unidades para el mes de diciembre.

Material	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
101L50	6.480	3.840	4.560	3.840	4.320	1.920	2.400	1.920	47.031

Tabla 16 – Demanda 101L50

La baja demanda de esta referencia junto a la instalación de una segunda máquina de fresado, reducimos hasta un 71,05% el stock almacenado en la L14 a la espera de ser mecanizado. Para el cálculo del stock mensual se utiliza siempre el viernes de la primera semana de fabricación del pistón de estudio. El mes de octubre no se fabricó este tipo de pistón, se cubrió con la demanda de septiembre.

### Stock en días - 101L50

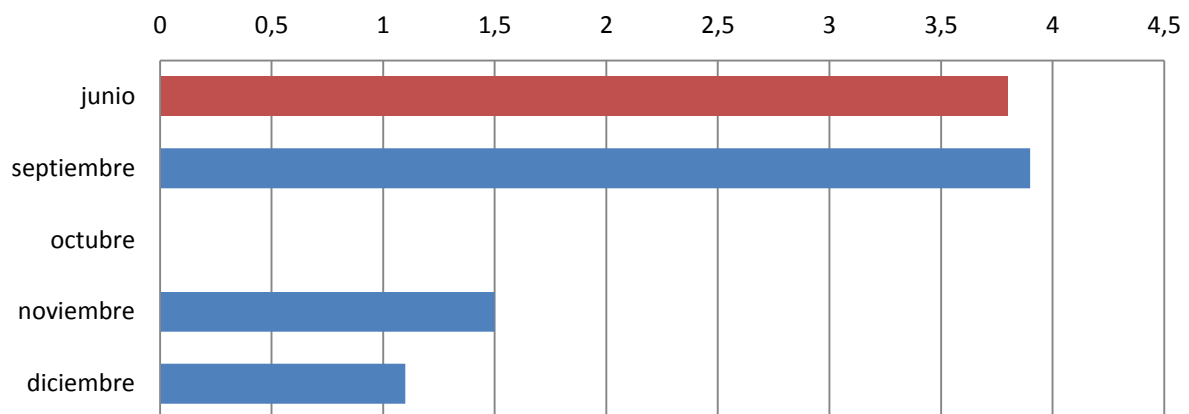


Gráfico 9 – Stock del pistón 101L50 en L14

### 7.3 Reducción del lote de producción

Debido a la planificación acordada entre la dirección, el departamento de logística, MPS e ingeniería, no se podrá implementar esta solución hasta la última semana de marzo de 2018 como se indica en el Diagrama de Gantt (página 45 de este documento). Esta planificación se da por la difícil implantación de un nuevo sistema de transporte, lo cual requiere eliminar la mentalidad tradicional por completo para todos los afectados.

A pesar del beneficio directo que supone un aumento notable del flujo, es necesaria una justificación notarial para poder implementar el sistema. La prueba piloto tendrá una duración de 81 días con la intención de garantizar y justificar que la solución es viable para disponerse a implementarla en otras áreas de la fábrica.

Hasta la fecha, ingeniería está trabajando en nuevos diseños de transporte de los lotes que permitan garantizar una cantidad estándar de pistones. Por otro lado, el departamento MPS busca modelos normalizados en catálogos, que puedan ajustarse a las necesidades de la planta.

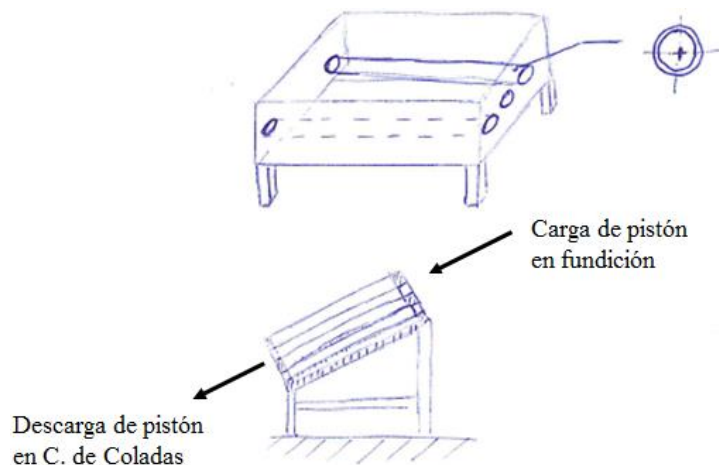


Imagen 15 – Boceto de nuevo diseño de contenedor

Sobre el boceto presentado se está trabajando en ingeniería para crear diferentes diseños capaces de cubrir las necesidades de MAHLE S.A. Sin embargo, hay otra opción para estandarizar los lotes que se está barajando.

Esta segunda posibilidad consiste en la instalación de un sistema de orientación de los pistones. De esta forma siempre irán igual colocados dentro del contenedor y podremos definir un máximo y un mínimo, reduciendo el tamaño del lote a la mitad. Esta propuesta se baraja debido a que, una vez realizado el proceso de Corte de Coladas, los pistones caen sin orientación en los contenedores de nuevo. Esto provoca variaciones en las cantidades para las mismas referencias y el mismo contenedor de transporte.

## 7.4 SMED en Corte de Coladas

Una herramienta de seguimiento muy utilizada para el SMED es el diagrama espagueti o spaghetti chart, es la representación gráfica del movimiento de los operarios a la hora de realizar su trabajo diario, así como los necesarios para los cambios de producto.

Se realiza un esquema sencillo de la máquina y, anotando el proceso que se está haciendo en cada momento, se numera la acción y se introduce el tiempo dedicado a ella. Mediante un bolígrafo se sigue al operario sobre el papel mientras prepara el cambio de referencia, hasta obtener un esquema de los movimientos del trabajador.

Para MAHLE S.A. esta es la base necesaria para controlar el tiempo de dedicación para cada acción en las situaciones de cambio de producto en la TR-17. Con la ayuda del departamento MPS se obtiene un tiempo máximo de 44,65 minutos. Lo cual limita notable los cambios de producto diarios.



Gráfico 10 – SMED inicial en TR-17

Por ello, el sistema de trabajo en esta área de la fábrica comprende lotes grandes de trabajo y sobreproducción de referencias para mecanizar en la línea. Acumulación de inventario en el almacén de brutos y problemas de respuesta a cliente desde la fundición, siendo el cliente las líneas de mecanizado.

La implementación de 5S en el área de estudio, así como la correcta gestión y control de la preparación y la implantación de las ideas de mejora permite una reducción del tiempo a los 1,33 días, respecto a los 2,6 días iniciales.

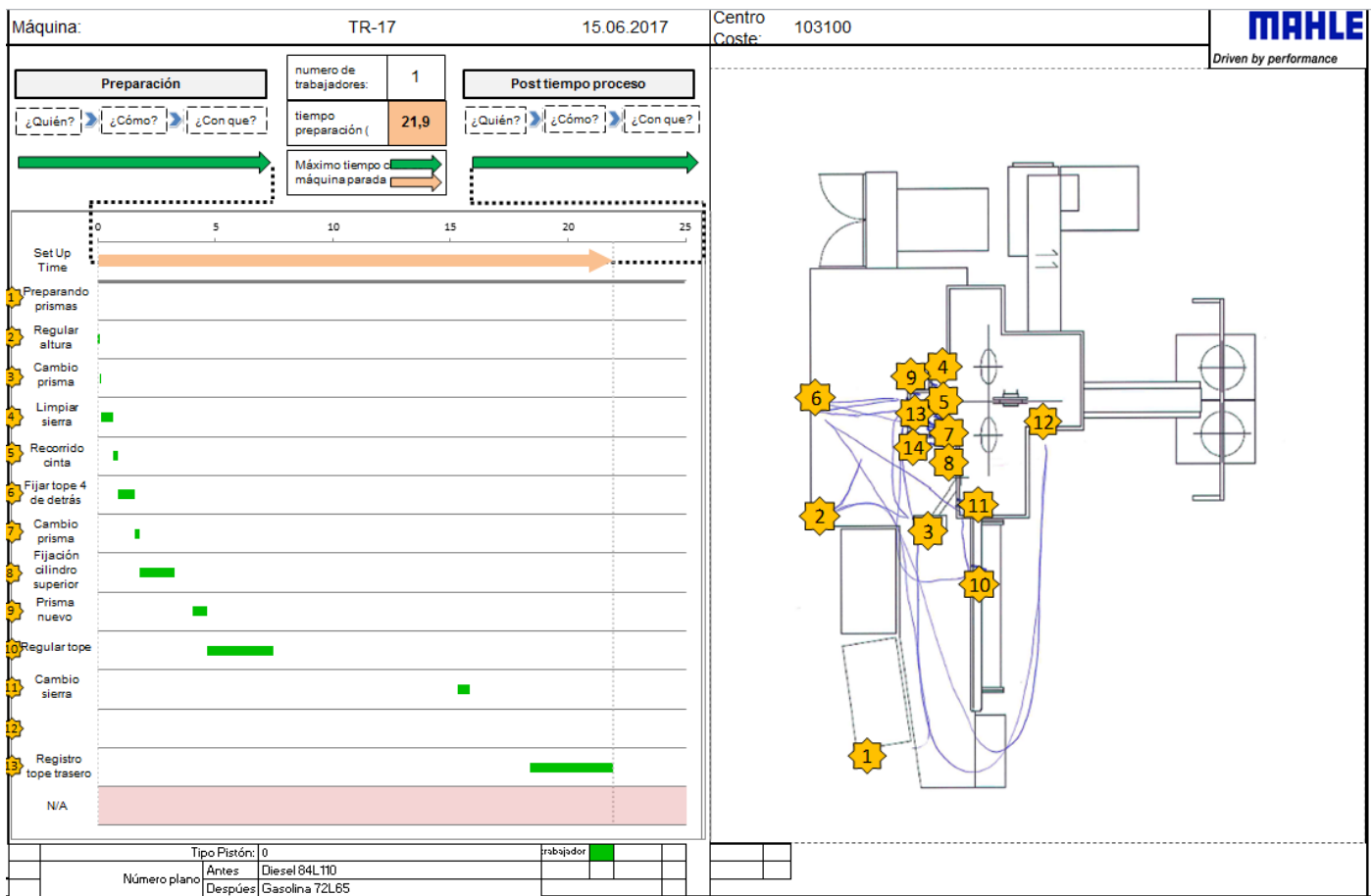


Gráfico 11 – SMED actual en TR-17

Mediante los datos obtenidos en el seguimiento de las preparaciones y una vez se han aplicado las acciones propuestas, el resultado obtenido ha sido una reducción de 44,65 minutos a los 21,9 minutos para las preparaciones más costosas. Esto implica una reducción del 50,95% del tiempo.

Reducción del Lead Time en la fábrica MAHLE S.A. aplicando el Value Stream Mapping  
Xavier Carmona Pardo

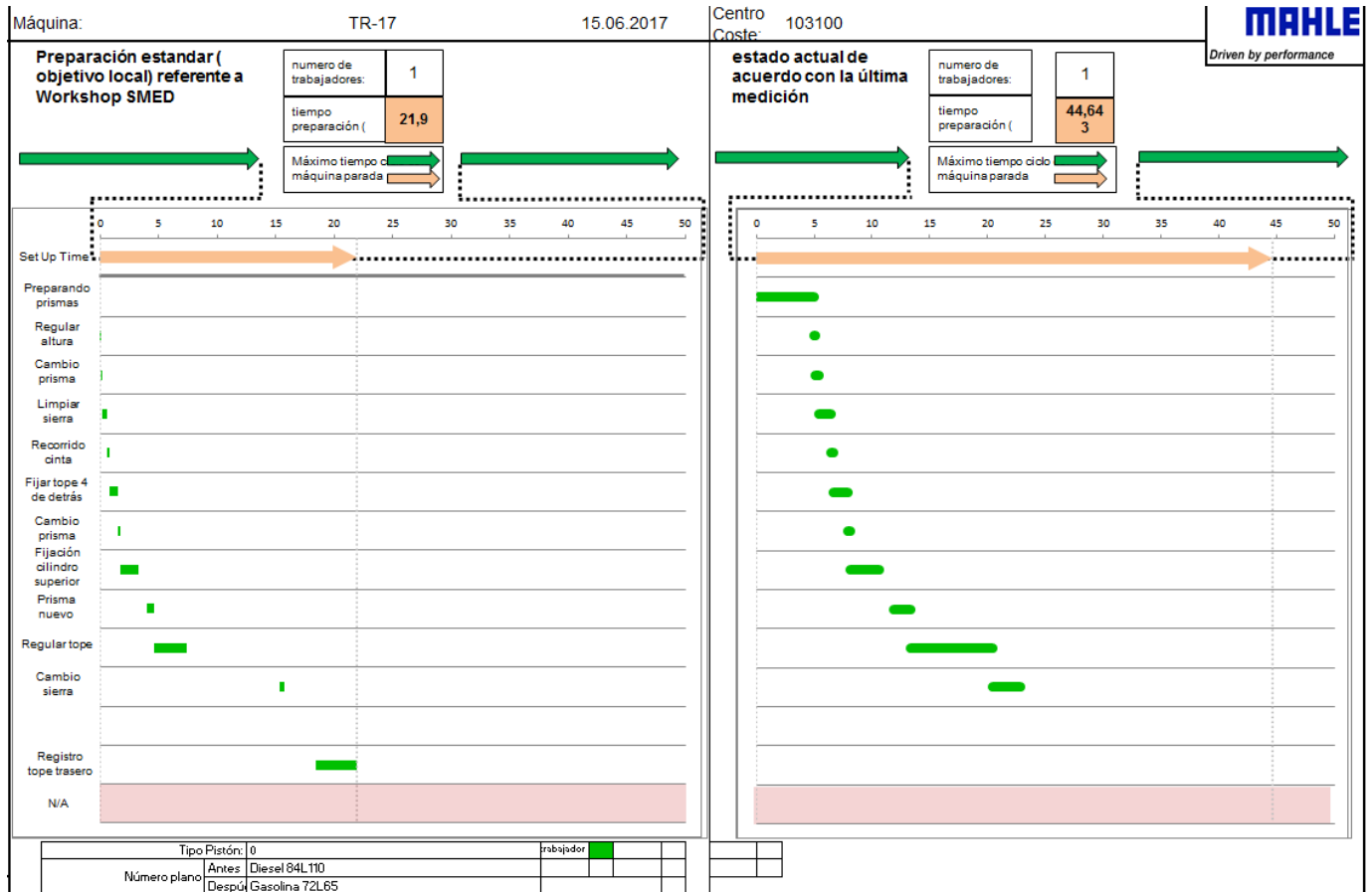


Gráfico 12 – Comparativa SMED inicial y actual

A pesar de la mejora del tiempo no se logra obtener un dato próximo al promedio del grupo. Es por ello que se continua mejorando con las ideas Kaizen implementadas en MAHLE S.A.

Puesto que es un proyecto que se pretende mejorar de forma continua se ha aplicado un diagrama espagueti objetivo para poder definir una meta primera sobre la que se pretende trabajar.

Reducción del Lead Time en la fábrica MAHLE S.A. aplicando el Value Stream Mapping  
Xavier Carmona Pardo

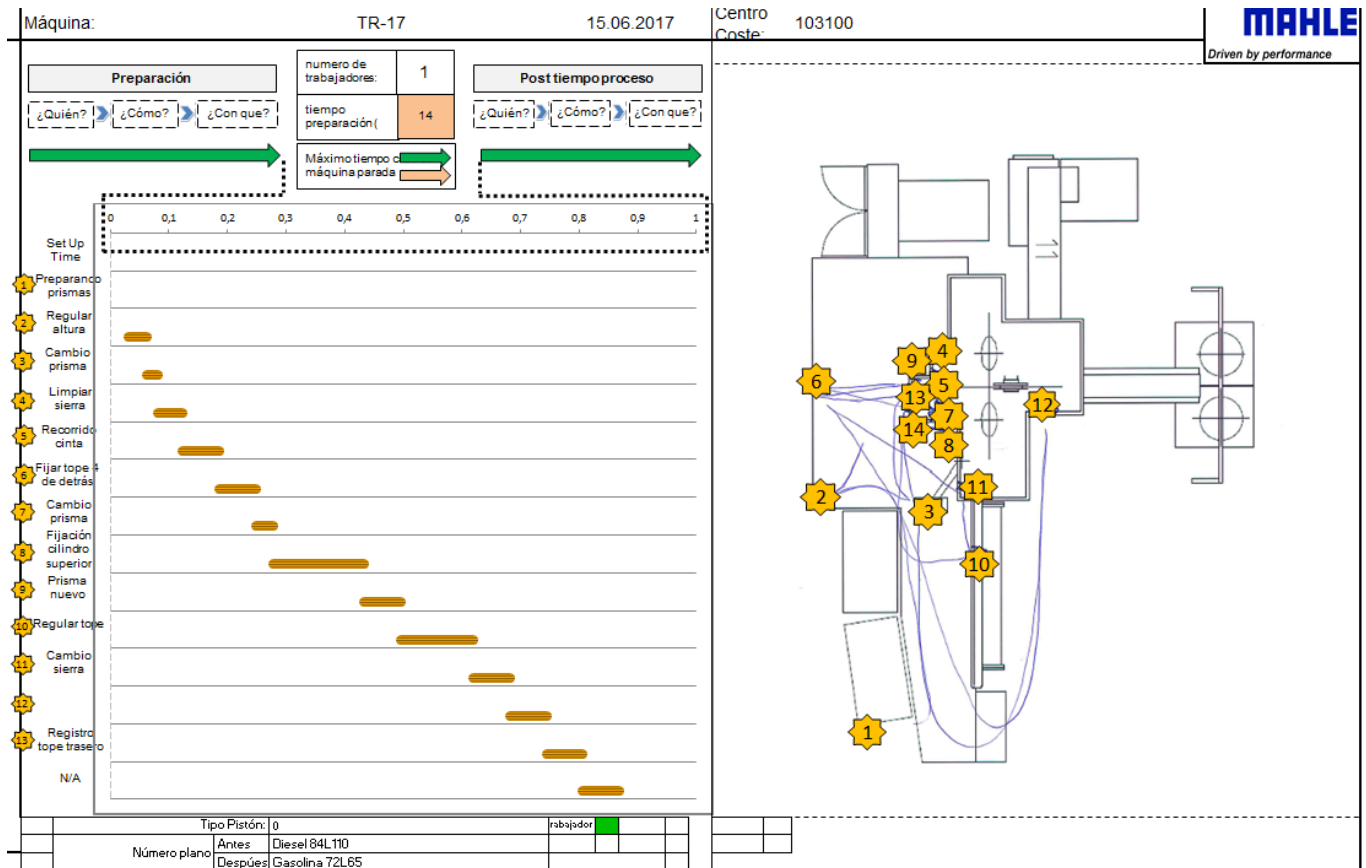


Gráfico 13 – SMED objetivo de MAHLE S.A. para TR-17

## **8. CONCLUSIONES. LECCIONES APRENDIDAS**

### **8.1 Conclusiones**

Las conclusiones que se pueden extraer de este proyecto son, lo primero, que no hemos alcanzado nuestro objetivo marcado de implementar todas las acciones antes del plazo de entrega de este proyecto por motivos económicos y de gestión de la empresa.

La demanda de cliente y el cambio del director de logística requieren de un período de adaptación y control. Sin embargo, las acciones hasta ahora implementadas y el futuro supermercado dejan entrever que el objetivo definido de 12 días es alcanzable y realista, permitiéndonos un lead time teórico de un máximo de 8,3 días sin reducir el tamaño del lote. Acción ya prevista y acordada que está en proceso de aplicación de la prueba piloto.

La reducción del tiempo de preparación para el corte de coladas aumenta notablemente la flexibilidad, permitiendo abastecer las distintas líneas de forma rápida. Esta preparación ha pasado de 45 minutos a 21,9 minutos, doblando la capacidad de reacción en caso de necesidad de un cambio de preparación.

La empresa MAHLE S.A. ha tenido una mentalidad tradicional sobre la cual está trabajando actualmente. Es por ello que se ha seleccionado a Jordi Ruiz como nuevo director de logística. Predisponiendo a la empresa junto con el departamento MPS, el equipo directivo e ingeniería hacia el nuevo enfoque Lean.

La creación de flujo es vital para la rápida recuperación económica de la inversión, por lo que la reducción del lote ajustará el lead time y reducirá de forma directa el stock que se encuentra en la planta.

La eliminación del almacén de brutos y la creación del supermercado permitirá controlar los lotes de trabajo y ajustará la planificación de fabricación a la demanda necesaria mediante el nivelado de la producción y los cambios rápidos de preparación.

Se puede comprender de igual manera, la necesidad y relevancia de definir unos plazos y la responsabilidad de que estos se cumplan al encargado de realizarlos. De esta forma se traza mejor una línea de desarrollo de las acciones y una cara sobre la cual será necesario presionar si la acción no se realiza en el plazo previsto.

En resumen, de este trabajo se concluye la viabilidad del sistema de gestión Lean a partir de la herramienta de Value Stream Mapping, permitiendo una reducción en los plazos de entrega en un 77,63%. Esta cifra puede verse incrementada en el futuro con la aplicación total de las acciones y gracias a la mentalidad Kaizen de la planta.

## 8.2 Lecciones aprendidas

Es para mí muy importante, como autor de este proyecto, dejar constancia de las lecciones aprendidas durante la evolución del proyecto y mi estancia en MAHLE S.A. como estudiante en prácticas. No solo los conocimientos adquiridos a nivel técnico comprenden una lección sino, también, el día a día en el ámbito laboral.

Lo primero que quisiera destacar es la gran diferencia que se presenta en la creación de un proyecto teórico para la universidad y en la universidad y la dificultad de implementación de ese mismo trabajo en una empresa. Las complicaciones de todos los departamentos y el intento de abrirse paso hacia lograr los objetivos marcados.

Trabajar en una empresa como MAHLE S.A. que ha estado muchos años siguiendo una mentalidad tradicional me ha permitido comprender la dificultad de provocar un cambio de ideología sobre la gestión y control de una empresa. Todo cambio en una planta de producción tiene una primera respuesta de rechazo y miedo, algo que en la universidad se explica pero no se comprende.

MAHLE S.A., y todas las empresas, se fundan para obtener un beneficio económico. Lo cual significa que el cliente tendrá prioridad y por ello se crean stocks que pretenden evitar el no cumplimiento del plazo de entrega. Y crean de forma directa ese miedo a reducir el tamaño del almacén y el de los lotes.

Una lección muy importante, con la que sí me he encontrado en la empresa de Vilanova i la Geltrú, es la trascendencia de tener al operario siempre motivado, con un papel interno que vaya más allá de la productividad. Un trabajador contento siempre producirá más y mejor, darle la oportunidad de mejorar áreas, máquinas y puestos de trabajo mejora el rendimiento de la empresa y aumenta el OEE. MAHLE S.A. entiende que nadie conoce mejor el proceso y la máquina que el operario y trabaja con ellos para beneficiarse de este conocimiento.

He comprendido el auténtico papel de un ingeniero dedicado a la organización de la producción. Este puesto no pretende solucionar todos los problemas, sino ayuda a controlar, dar soporte y motivar a todos los empleados a trabajar como un único cuerpo para solucionarlos. Es un puesto al que es difícil darle el permiso para trabajar en sus proyectos, pero sin embargo, obtiene grandes beneficios a corto y largo plazo mediante la manufactura esbelta.

Me ha permitido conocer la importancia de reducir o eliminar el stock para poder ver los problemas, así como entender que sin pasar por los puestos de trabajo no comprenderemos nunca el proceso de producción en su totalidad.

Finalmente, destacar que he aprendido la gran utilidad de una herramienta como es el Value Stream Mapping. Trabajar en este proyecto y para MAHLE S.A. me ha dado la oportunidad de comprender mejor y ver con mis propios ojos la diferencia entre una mentalidad centrada en la producción y un nuevo modelo de gestión enfocado a la demanda de cliente.



## 9. AGRADECIMIENTOS

Como autor de este proyecto deseo agradecer a la empresa MAHLE S.A. por haberme brindado la oportunidad de realizar el trabajo final de grado con ellos. Un proyecto de esta envergadura requiere una empresa dispuesta a realizarlo, y es por ello que agradezco al equipo directivo su dedicación e inversión de tiempo en mi formación para comprender mejor este estudio.

Particularmente, quiero dar mi agradecimiento a Manuel Pineda como jefe e instructor del departamento Mahle Production System por facilitarme la formación necesaria, no solo para el desarrollo del trabajo sino para mi crecimiento laboral. También quisiera destacar la fácil integración a los proyectos que me ha brindado, dejándome ser uno más en cada uno de ellos. Agradecerle también a su persona el buen trato y su esfuerzo, la lucha diaria por mi incorporación a la plantilla, las horas de trabajo y las de fuera de trabajo que me ha dedicado. Todo ese tiempo me ha permitido conocerle mejor y darme cuenta de su gran profesionalidad y su generosa personalidad. He podido trabajar junto a él como uno más del equipo MPS, no como un becario.

También es un honor haber conocido a Jesús Seco, compañero del departamento, por darme el apoyo necesario además de los buenos momentos, junto al resto de compañeros de oficina, lo cual ha hecho mi estancia muy fluida, cómoda y divertida.

Haciendo mención a mi tutor del proyecto por parte de la empresa y director de operaciones, Wilfried Rendler, deseo agradecerle su confianza depositada en mi persona y en mi capacidad para este estudio. Además agradecer su tiempo dedicado en el proyecto, el cual es muy valioso para este trabajo.

También a Montse Lloveras y Jordi Ruiz como ex directora y actual director del departamento de logística, por facilitarme, con mucha paciencia, todos los datos de inventario para los seguimientos del proyecto.

Agradecer de igual forma a todos los compañeros de MAHLE S.A. con los que he trabajado, desde operarios de fundición y mecanizado hasta el gerente de la planta, Nuno Arroja, por sus buenas maneras, su paciencia y la inversión de su tiempo para cubrir todas las necesidades para el correcto desarrollo de mi trabajo.

Quisiera dar las gracias, por supuesto, a la universidad EPSEVG (Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú) por haberme otorgado las capacidades y conocimientos necesarios para realizar tanto este proyecto como otros muchos anteriores. Así como haberme dado una correcta formación para poder resolver los problemas que se me presenten a nivel laboral.

En lo que respecta este proyecto, agradezco al profesorado de la asignatura de Organización de la Producción por darme una oportunidad de conocimientos totalmente ajena a la convencional. Quisiera agradecerles las herramientas que me han facilitado así como la enseñanza del sistema de producción de manufactura esbelta.

Deseo agradecer en especial a mi tutor del trabajo por parte de la universidad, Severino Abad, por enseñarme el camino a seguir dándome unas pautas que han servido para dar cuerpo a este proyecto. Por sus incansables respuestas a mis cientos de correos electrónicos arrojándome siempre la luz que no conseguía encontrar por mí mismo.

Para terminar, en el ámbito personal, deseo dar las gracias a todas esas personas que me han apoyado desde el principio de mis estudios hasta la entrega de este trabajo. Esas personas, como no puede ser menos, son mi familia y mis amigos. A los primeros darles las gracias por darme la oportunidad de realizar los estudios que he deseado además de otorgarme su apoyo incondicional. A los segundos por ese apoyo diario que han evitado que me derrumbe a lo largo de este interesante estudio.

## 10. BIBLIOGRAFIA

Cuatrecasas, L. (2010). “*Lean Management: La gestión competitiva por excelencia*”. Ed. Profit Editorial.

Guerrero, J. (2016). “*Lean es Lean: Principios y herramientas del Lean Manufacturing simples, claros y prácticos*”.

Rother M.; Shook, J. (1999). “*Observar para crear valor*”. Ed. Lean Enterprise Institute.

Chase R.B.; Jacobs F.R. (2011). “*Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros*”. Ed. McGraw-Hill.

Shingo, S. (1990). “*Una revolución en la producción: el sistema SMED*”. Ed. Productivity, Inc.

## 11. ÍNDICE DE FIGURAS

IMAGEN 1 - ORGANIGRAMA DE MAHLE S.A. ....	8
IMAGEN 2 - LAYOUT ORIENTATIVO DE LA FÁBRICA MAHLE S.A. ....	9
IMAGEN 3 - LAYOUT REAL DE MAHLE S.A. ....	10
IMAGEN 4 - DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN.....	13
IMAGEN 5 - PISTÓN AMG (98L94) . ....	13
IMAGEN 6 - PISTÓN AMG (83L150) . ....	14
IMAGEN 7 - PISTÓN BMW (72L65) . ....	14
IMAGEN 8 - PISTÓN BMW (101L50) . ....	14
IMAGEN 9 - PISTÓN DAIMLER (92L159) . ....	14
IMAGEN 10 - VALUE STREAM MAPPING ACTUAL DE MAHLE S.A.....	20
IMAGEN 11 - VSM ACTUAL Y KAZIEN .....	32
IMAGEN 12 - VALUE STREAM MAPPING FUTURO DE MAHLE S.A. ....	38
IMAGEN 13 - ESPACIO FÍSICO PARA EL BUFFER .....	49
IMAGEN 14 - MÁQUINA DE FRESADO (L14) .....	50
IMAGEN 15 - BOCETO DE NUEVO DISEÑO DE CONTENEDOR .....	51

## 12. ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 - DIVISIONES DE LAS ÁREAS DE LA PLANTA .....	9
TABLA 2 - DEMANDA ANUAL .....	17
TABLA 3 - SIMBOLOGIA VSM DE MAHLE S.A. ....	18
TABLA 4 - LEYENDA VSM EN MAHLE S.A. ....	19
TABLA 5 - MODELO 5W+2H .....	21
TABLA 6 - DIAGRAMA DE PARETO. TABLA SITUACIÓN ACTUAL .....	22
TABLA 7 - 5 PORQUÉS DEL ELEVADO LEAD TIME .....	29
TABLA 8 - SOLUCIONES PROPUESTAS.....	33
TABLA 9 - DATOS PARA CÁLCULO DE STOCK .....	35
TABLA 10 - STOCK EN CANTIDAD DE PISTONES.....	37
TABLA 11 - DEDICACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA. BUFFER Y SUPERMERCADO .....	41
TABLA 12 - PRESUPUESTO MÁQUINA NUEVA DE FRESADO L14 .....	42
TABLA 13 - DEDICACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA. MÁQUINA DE FRESADO .....	42
TABLA 14 - DEDICACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA. REDUCCIÓN DEL LOTE .....	44
TABLA 15 - DEDICACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA. SMED EN C. DE COLADAS .....	45
TABLA 16 - DEMANDA 101L50 .....	50
TABLA 17 - MODELO A3 DE TOYOTA .....	67

### 13. ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - DIAGRAMA DE PARETO. CAUSAS LEAD TIME .....	23
GRÁFICO 2 - DIAGRAMA YAMAZUMI EN MAHLE S.A. ....	27
GRÁFICO 3 - DIAGRAMA COSTE-TIEMPO .....	33
GRÁFICO 4 - DIAGRAMA DE GANTT. BUFFER Y SUPERMERCADO .....	41
GRÁFICO 5 - DIAGRAMA DE GANTT. MÁQUINA DE FRESADO .....	43
GRÁFICO 6 - DIAGRAMA DE GANTT. REDUCCIÓN DEL LOTE .....	44
GRÁFICO 7 - DIAGRAMA DE GANTT. SMED EN C. DE COLADAS .....	46
GRÁFICO 8 - SEGUIMIENTO DEL LEAD TIME L15 .....	48
GRÁFICO 9 - STOCK DEL PISTÓN 101L50 EN L14 .....	50
GRÁFICO 10 - SMED INICIAL EN TR-17.....	52
GRÁFICO 11 - SMED ACTUAL EN TR-17 .....	53
GRÁFICO 12 - COMPARATIVA SMED INICIAL Y ACTUAL .....	54
GRÁFICO 13 - SMED OBJETIVO DE MAHLE S.A. PARA TR-17 .....	55
GRÁFICO 14 - DIAGRAMA ISHIKAWA.....	66

## 14. GLOSARIO

1. **FIFO:** Acrónimo de “*First-In First-Out*” (Primero Entra Primero Sale). Método de valuación de inventario para controlar los productos entrados primeros. Limita las esperas y previene caducidades.
2. **Valor añadido:** Valor económico que gana un bien al ser modificado en el proceso productivo.
3. **Takt Time:** Ritmo en el que las piezas deben ser producidas para cumplir la demanda del cliente.
4. **OEE:** Acrónimo de “*Overall Equipment Efficiency*” (Eficiencia General de los Equipos). Indicador del rendimiento de las máquinas o áreas de una empresa. Este dato es la relación entre el tiempo de uso efectivo respecto el tiempo de ocupación máxima en tanto por ciento.
5. **Buffer:** Stock de seguridad instalado para controlar el nivel máximo de inventario. Este almacén debe ser muy limitado y cubrir, exclusivamente, las variaciones de cliente.
6. **SMED:** Acrónimo de “*Single-Minute Exchange of Die*”. Expresión que se refiere a la máxima eficiencia de preparación en máquina. Sistema de análisis de los tiempos de preparación en cambio de producto.
7. **Sistema Pull:** Sistema planificado de producción centrado en la demanda de cliente. Cada proceso “estira” del proceso anterior marcando el ritmo de demanda necesario en cada momento.
8. **Diagrama Ishikawa:** También llamado Diagrama Causa-Efecto o espina de pez, es una representación gráfica que representa la relación entre un efecto y todas sus causas que originan dicha causa. Muestra una espina central con el problema. En su entorno pequeñas flechas (o espinas) sobre las que mostramos, habitualmente, los grupos “Hombre, Medio ambiente, Material, Método, Máquina” y en estos mismos las posibles causas de cada uno que afectan al problema.
9. **Gemba:** Traducido del japonés como lugar o puesto de trabajo. Es el área física que se pretende analizar.
10. **Rayo Kaizen:** Símbolo utilizado en la herramienta de análisis Value Stream Mapping. Icono focalizado a las ideas y propuestas de mejora continua.
11. **Buffer Stock:** Material acumulado para proteger ante cualquier variación de la demanda.
12. **Supermercado:** Sistema por rellenado de lo consumido con principio FIFO. Basado en la reposición de un supermercado (negocio comercial).
13. **Safety stock:** Material acumulado para proteger ante cualquier variación de los procesos.

## 15. ANEXO

### 15.1 Definición del Diagrama de Pareto

Esta herramienta se basa en el principio del economista y sociólogo italiano Vilfredo Pareto (1848-1923) que expone los resultados de un estudio realizado:

*“El 80% de la riqueza se encuentra en el 20% de la población.”*

A finales de los años 30, durante una visita a la compañía de General Motors Corporation, Josep Juran (1904-2008) conoció los estudios realizados por Pareto y esto le permitió trasladar el principio de Pareto al mundo industrial demostrando que el 80% de los problemas de una fábrica viene dado por el 20% de las causas más importantes. Los porcentajes son aproximados, sin embargo demuestran que la mayoría de problemas en una planta de producción es debido a un pequeño número de las causas más relevantes.

El Diagrama de Pareto, Distribución A-B-C o regla 80/20, como también se le suele llamar, es por lo tanto el caso particular de un gráfico de barras.

En el Diagrama de Pareto las barras representan los problemas ocasionados y se ordenan de forma descendente. Además se calcula el porcentaje de acuerdo a la frecuencia con que se muestra cada una de las causas o problemas. En la representación gráfica, al diagrama de barras, le añadimos una línea acumulativa del porcentaje calculado. De esta forma observamos como la mínima parte de las causas ocasiona la mayoría de las pérdidas o fallos.

Referente al control de procesos del mundo industrial identificamos dos tipos de Diagrama de Pareto:

- Diagrama de fenómenos, se calcula para conocer los principales problemas que impiden el correcto funcionamiento de la planta.
- Diagrama de causas, una vez hallados los problemas en la fábrica se utiliza para determinar las causas de mayor relevancia que los ocasionan.



## 15.2 Definición del Modelo 5W+2H

El modelo 5W+2H es una herramienta de la gestión Lean utilizada por las empresas. Permite identificar la situación actual y realizar un análisis de problemas a partir de siete preguntas básicas.

Las cuestiones a responder son las siguientes:

- **What:** Con esta primera cuestión se define brevemente el problema con el que se encuentra la planta. Por lo que respondemos a la pregunta “¿Qué ocurre?” o “¿Cuál es el problema?”
- **Who:** Persona la cual detecta el fallo. En ocasiones puede darse que sea un fallo humano, por lo aquí queda reflejado a quién afecta. Responde a la pregunta “¿Quién detecta el problema?”
- **Why:** Para el análisis sobre lo que ocurre es necesario conocer su origen. Para ello la pregunta que hay que contestar es “¿Por qué sucede el problema?”
- **Where:** Es relevante conocer la ubicación física (instalación, proceso u otros) en las que se detecta el conflicto al que se pretende enfrentar la empresa. Es necesario responder, por lo tanto, a las cuestiones “¿Dónde ocurre el problema?” o “¿En qué producto/proceso sucede?”
- **When:** Otro de los requerimientos para conocer el estado actual es saber el momento temporal con el que se encuentra el inconveniente. A lo que lo definiremos apelando a la pregunta “¿Cuándo vemos este problema?”
- **How to:** Los conflictos que se desean estudiar es porque se distinguen de la situación ideal del que la empresa parte. Definimos en qué difiere esta situación de la ideal mediante la pregunta “¿Cómo se diferencia el problema del estado habitual/ideal?”
- **How much:** Se anota la frecuencia con la que sucede el problema e incluso la repercusión económica que puede suponer. Responde a “¿Cuántas veces ocurre?” o “¿Cuánto dinero su pone?”

### 15.3 Diagrama Ishikawa

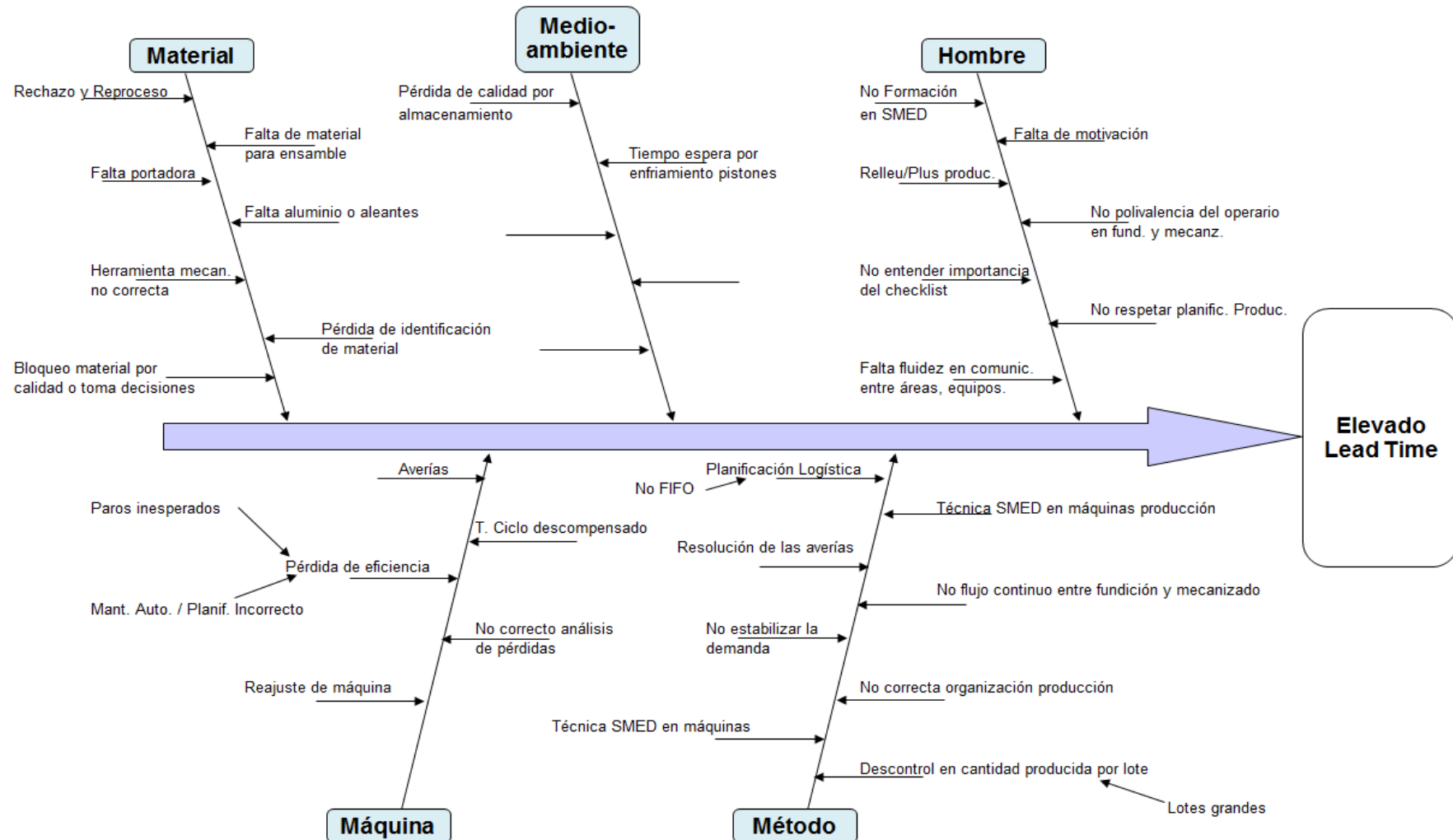


Gráfico 14 – Diagrama Ishikawa

## 15.4 Modelo A3 de Toyota

El presente proyecto está basado en este modelo de resolución de problemas, de forma descriptiva y expandida se muestra el desarrollo de esta herramienta. Por ello, se comprueba la efectividad del modelo que permite resumir un proyecto de esta envergadura en un único documento.

El modelo A3 de Toyota es un informe o herramienta de gestión visual originaria de la empresa de automoción Toyota. Permite documentar y controlar el análisis de un problema condicionando las decisiones a seguir de una empresa.

El documento obliga a seguir una disciplina de una única hoja en formato A3 dividida en cuadrantes. Esta herramienta obliga a exponer una gran cantidad de información y datos de forma breve y concisa. Evitando largas presentaciones de seguimiento de resolución de problemas.

Este informe está fundamentado en el ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) para la resolución de problemas, subdividiendo cada uno de los puntos en apartados que definan de forma clara y breve el problema, las soluciones, el seguimiento de ellas y los resultados, como se presenta de forma resumida y clara en la tabla siguiente.

Ciclo PDCA	A3 de Toyota	Descripción
<b>Planear</b> <b>(Plan)</b>	Antecedentes	Contexto, entorno del problema.
	Situación actual	Descripción notarial del problema.
	Objetivos	Objetivos marcados por la empresa.
	Análisis de causas	Describe el por qué la empresa no se encuentra en la situación objetivo.
	Propuestas de solución	Propuestas de mejora y soluciones para alcanzar el objetivo.
<b>Hacer (Do)</b>	Plan de acción	Definición de plazos y responsables.
<b>Comprobar</b> <b>(Check)</b>	Seguimiento	Seguimiento y control de las acciones desarrolladas.
<b>Actuar</b> <b>(Act)</b>	Conclusiones y lecciones aprendidas (resultados)	Conclusiones, lecciones y resultados obtenidos. Comparativa con el objetivo marcado por la empresa.

Tabla 17 – Modelo A3 de Toyota

